



เครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการอบแห้งอาหาร

วิทยานิพนธ์

ของ

เกศดาพร วงษ์ซิ้ม

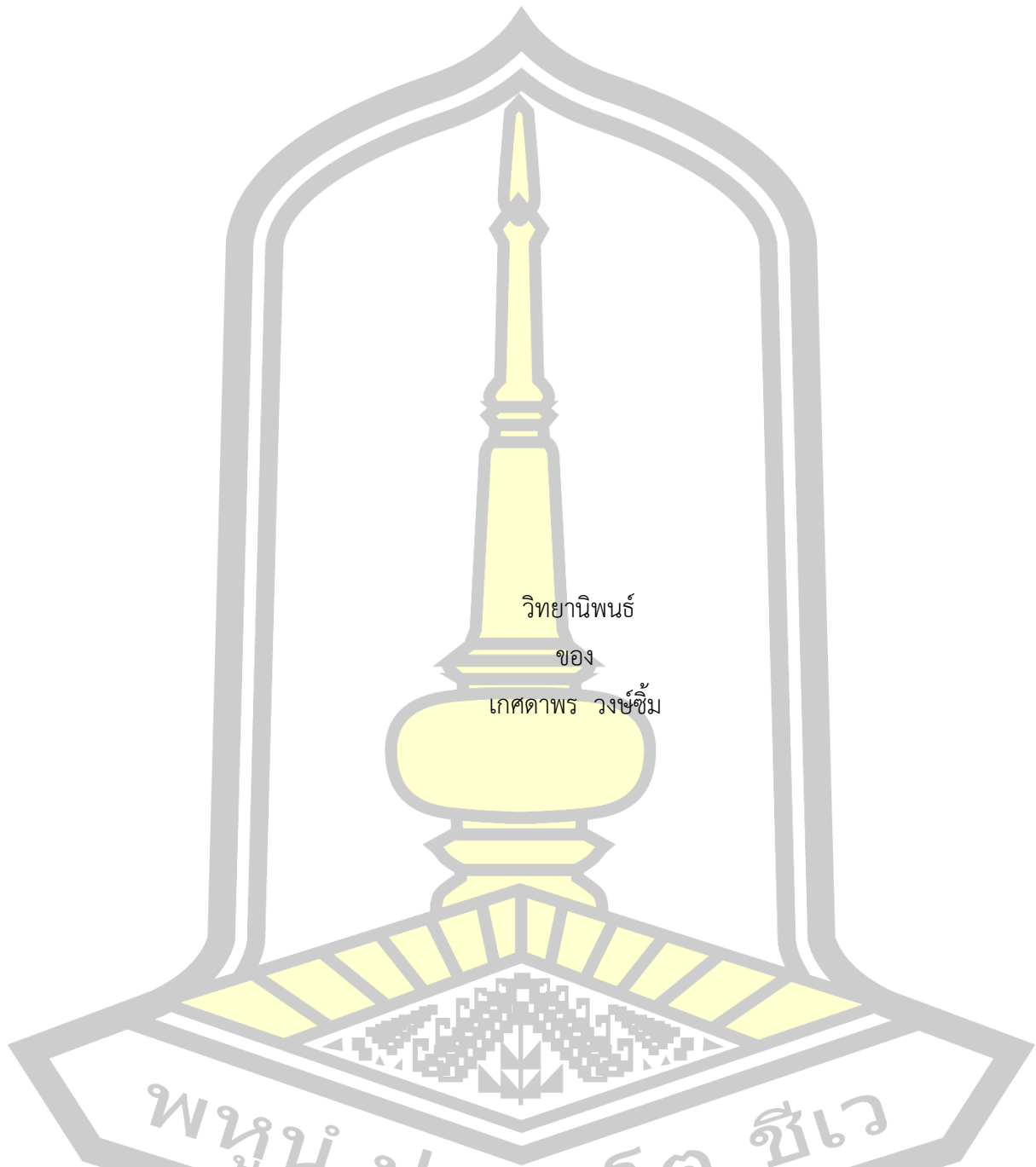
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สิงหาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการอบแห้งอาหาร



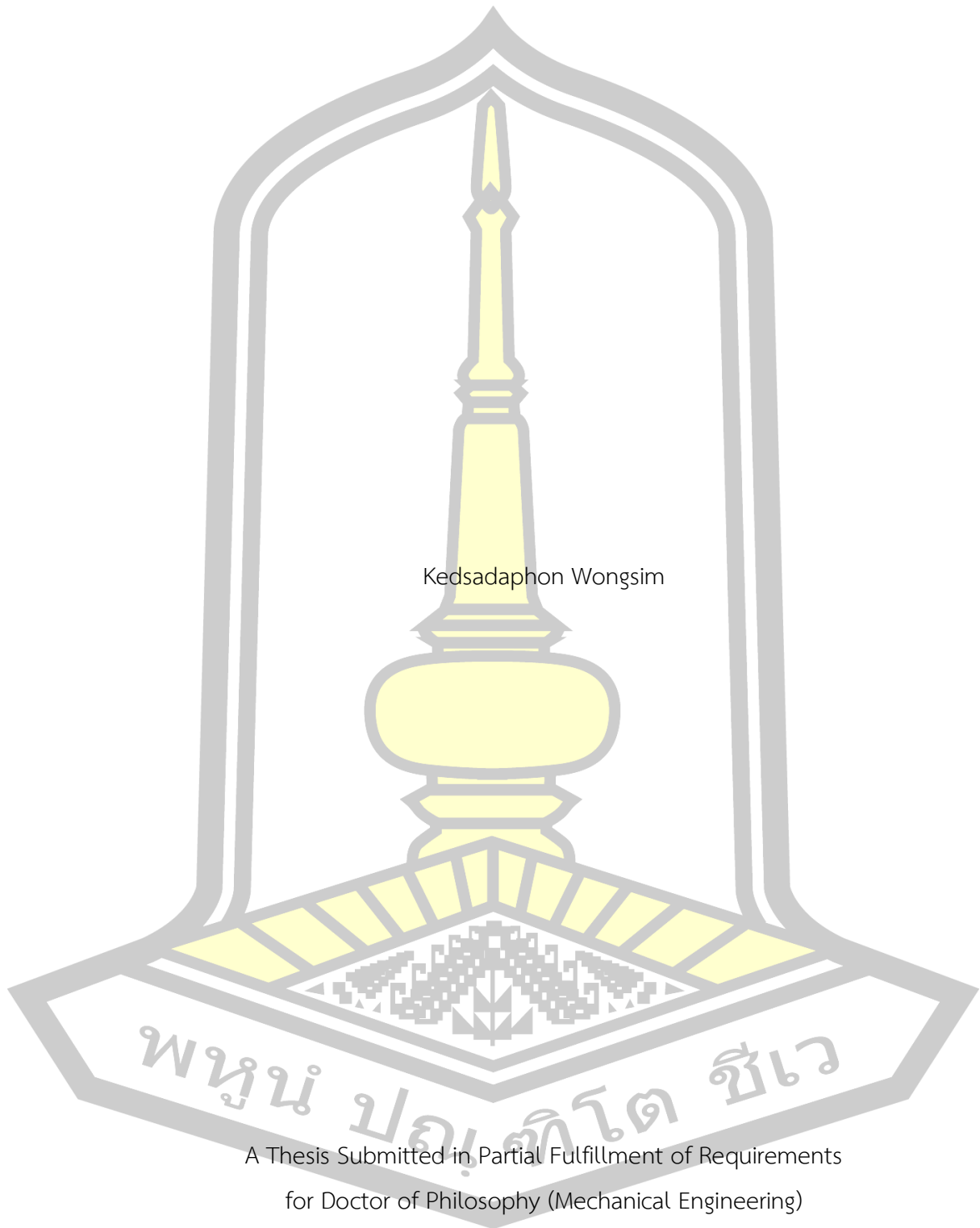
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สิงหาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

A thermoelectric dryer for food dehydration



Kedsadaphon Wongsim

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering)

August 2019

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางเกศดาพร วงษ์ซุ้ม
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชา
วิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. ทศวรรษ สีตะวัน)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผศ. ดร. เจริญพร เลิศสถิตธนกร)

กรรมการ

(ผศ. ดร. ณัฐพล ภูมิสะอาด)

กรรมการ

(ผศ. ดร. ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์)

กรรมการ

(ผศ. ดร. จักรมาส เลหาทวิช)

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(รศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	เครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการอบแห้งอาหาร		
ผู้วิจัย	เกษตรดาพร วงษ์ซิ้ม		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจริญพร เลิศสถิตธนกร		
ปริญญา	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2562

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการพัฒนาและทดสอบเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก สำหรับการอบแห้งอาหาร โดยเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นมีขนาด $0.40 \times 0.40 \times 0.35$ ลูกบาศก์เมตร ประกอบด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 5 โมดูล และติดตั้งครีบบระบายความร้อนที่ด้านร้อนและด้าน เย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก โดยเป็นการอบแห้งสมุนไพร 3 ชนิด ได้แก่ ใบพลูควาว ใบย่านาง และใบ ย่านางแดง ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.025 และ 0.045 เมตรต่อวินาที จนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วงร้อยละ 6-9 โดยน้ำหนักแห้ง และได้พัฒนาโมเดลทาง คณิตศาสตร์เพื่อทำนายอุณหภูมิที่ด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก จากผลการการศึกษา พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้ง คือ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 0.045 เมตรต่อวินาที ซึ่งส่งผลให้สัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องสำหรับการอบแห้งใบพลูควาว ใบ ย่านาง และใบย่านางแดง มีค่าเท่ากับ 2.04 0.96 และ 2.15 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อ อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีที่อ่อนลง ในส่วนโมเดล ทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น พบว่า สามารถทำนายอุณหภูมิที่ด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกได้เป็นที่น่าพอใจ โดยค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายอุณหภูมิที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก อยู่ในช่วง 0.350 - 1.923 และ 0.135 - 1.052 สำหรับการอบแห้งใบพลูควาวและใบย่านาง แดง ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า อุณหภูมิและความเร็วลมในห้องอบมีผลต่อปริมาณสารฟลาโวนอยด์และปริมาณสารฟีนอลิกในสมุนไพร

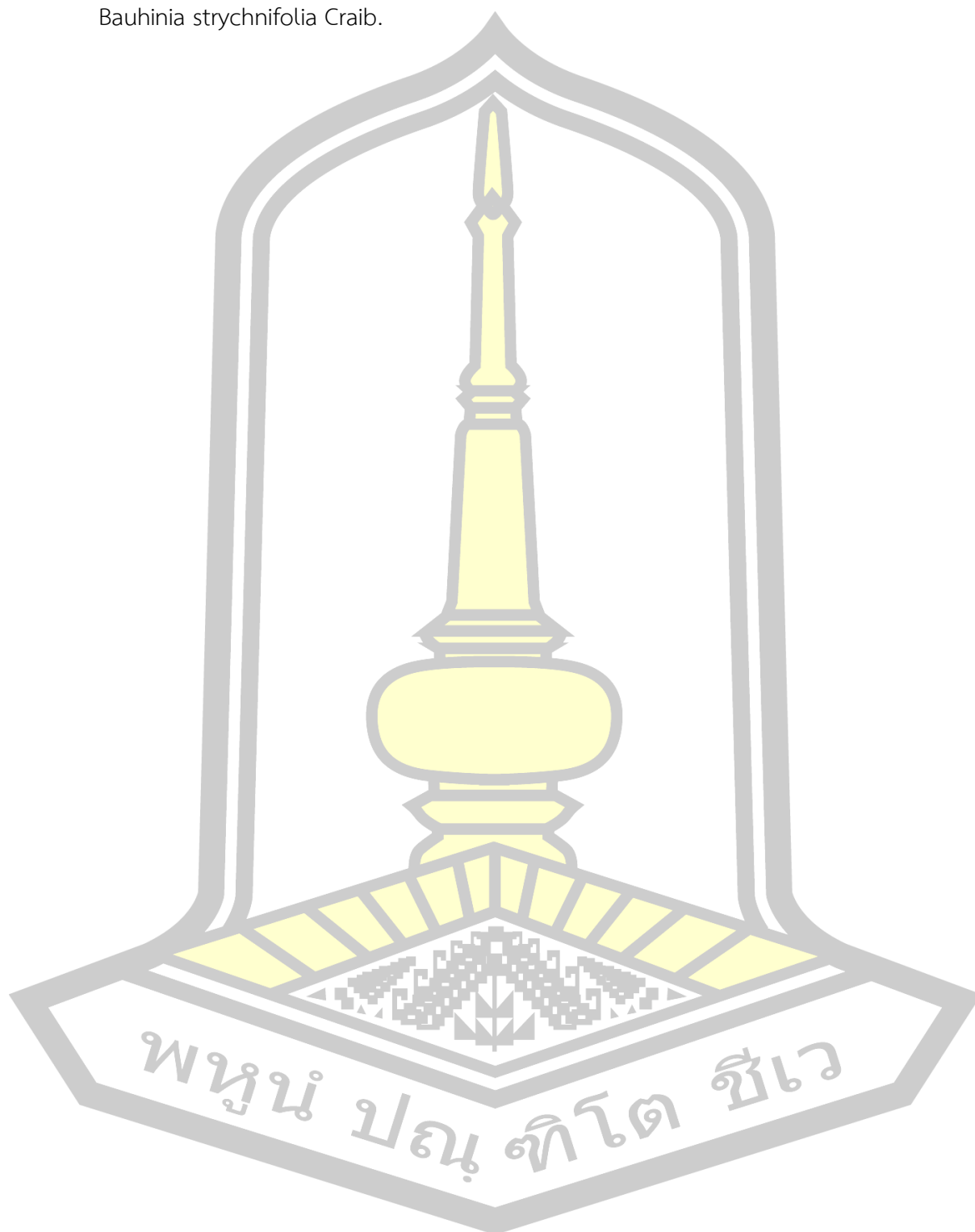
คำสำคัญ : เทอร์โมอิเล็กทริก, การอบแห้ง, พลูควาว, ย่านาง, ย่านางแดง

TITLE A thermoelectric dryer for food dehydration
AUTHOR Kedsadaphon Wongsim
ADVISORS Assistant Professor Jindaporn Jamradloedluk , Ph.D.
 Assistant Professor Charoenporn Lerdsatittanakorn , Ph.D.
DEGREE Doctor of Philosophy **MAJOR** Mechanical Engineering
UNIVERSITY Mahasarakham **YEAR** 2019
 University

ABSTRACT

A cabinet-thermoelectric dryer for food drying is developed and tested in this research work. The dryer is $0.4 \times 0.4 \times 0.35 \text{ m}^3$ and consists of five thermoelectric modules with heat sinks on the hot and cold sides of the thermoelectric modules. Three different herbs including *Houttuynia cordata* Thunb, *Tiliacara triandra* (Yanang leaves) and *Bauhinia strychnifolia* Craib were dried at temperatures of $40\text{-}60^\circ\text{C}$ and air velocities of 0.025 and 0.045 m/s until the final moisture content of $6\text{-}9\% \text{ d.b.}$ was reached. Mathematical model was used to predict temperature at the hot and cold sides of thermoelectric modules. The experimental results showed that optimum drying condition was at temperature of 50°C and velocity of 0.045 m/s . Such a condition resulted in performance coefficients (COPs) of the dryer for drying *Houttuynia cordata* Thunb, *Tiliacara triandra* (Yanang leaves) and *Bauhinia strychnifolia* Craib of 2.04 , 0.96 and 2.15 respectively. Higher drying temperature resulted in the shorter drying time and the lighter color of the dried products. The developed mathematical model could satisfactorily predict temperature at hot and cold sides of thermoelectric modules. Errors for prediction of hot side temperature were in the ranges of $0.350\text{-}1.923$ and $0.135\text{-}1.052$ for drying *Houttuynia cordata* Thunb and *Bauhinia strychnifolia* Craib, respectively. It was also found that air temperature and velocity had significant effects on amount of flavonoids and phenolic compounds of the herbs.

Keyword : Thermoelectric, Drying, *Houttuynia cordata* Thunb., *Tiliacora triandra*.,
Bauhinia strychnifolia Craib.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์เจริญพร เลิศสถิตธนากร อาจารย์ที่ปรึกษาทั้งสองท่าน รองศาสตราจารย์ ดร.ทศวรรษ สีตะวัน ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ภูมิสะอาด ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรมาส เลหาวิช กรรมการสอบ

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ ทั้งด้านวิชาการและการวิจัย

ขอขอบคุณนิสิตปริญญาตรี ปริญญาโท และปริญญาเอก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่คอยช่วยเหลือในการทดลอง และคำแนะนำด้านต่างๆ ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณนายชนานันต์ อุตวัฒน์ ในการช่วยจัดทำรูปเล่ม

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยเอาใจใส่ดูแลอย่างใกล้ชิดตลอดเวลา ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยมหาสารคามและมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรีที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

เกศดาพร วงษ์ซิ้ม

พูนัน ปณุกิตโต ชีเว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพประกอบ.....	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง.....	5
2.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง.....	6
2.2 ความชื้นของวัสดุ.....	8
2.2.1 ค่าความชื้นหรือน้ำในผลิตภัณฑ์.....	8
2.2.2 การหาค่าความชื้นหรือน้ำในผลิตภัณฑ์.....	9
2.3 อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio, MR).....	10
2.4 เฮอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric).....	11
2.4.1 เทคโนโลยีเฮอร์โมอิเล็กทริก.....	11
2.4.2 หลักการทำงานของเฮอร์โมอิเล็กทริก.....	12

2.5 สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance) ของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก.....	13
2.6 ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง (Energy Effectiveness).....	15
2.7 ชาสมุนไพร.....	15
2.8 ใบพลูคาว.....	16
2.8.1 การใช้ประโยชน์.....	17
2.8.2.ปริมาณที่ใช้.....	17
2.8.3.สารเคมีที่พบ.....	17
2.9 ใบย่านาง.....	18
2.9.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของย่านาง.....	18
2.9.2 ประโยชน์ทางยาของย่านาง.....	19
2.9.3 คุณค่าทางโภชนาการของย่านาง.....	19
2.9.4 ส่วนที่ใช้.....	20
2.9.5 การใช้ย่านางเป็นยาพื้นบ้านอีสาน.....	20
2.10 ใบย่านางแดง.....	21
2.10.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์.....	21
2.10.2 ประโยชน์ของย่านางแดง.....	22
2.10.3 สรรพคุณของย่านางแดง.....	22
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	32
3.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก.....	33
3.1.1. เทอร์โมอิเล็กทริก.....	33
3.1.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและชุดให้ความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก.....	34
3.1.3 พัดลมดูดอากาศแบบหอยโข่ง (centrifugal fan).....	35

3.1.4	พัดลมระบายอากาศแบบตามแนวแกน (axial fan).....	36
3.2	การสร้างและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก	36
3.3	เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	38
3.3.1	เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ (Data logger).....	38
3.3.2	แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า	39
3.3.3	เทอร์โมคัปเปิล.....	39
3.3.4	เครื่องวัดความเร็วลม.....	40
3.3.5	เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ (แสดงค่าทั้งความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ).....	41
3.3.6	เครื่องวัดไฟฟ้าแบบดิจิตอล	41
3.3.7	เครื่องวัดค่าสี.....	42
3.3.8	เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล	42
3.3.9	ตู้อบลมร้อน (Hot air oven).....	43
3.4	การเตรียมการทดลอง	43
3.5	ขั้นตอนการทดลอง	45
3.6	การทำนายอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก	46
3.6.1	การคำนวณหาอุณหภูมิที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านร้อนและด้านเย็น .	46
3.6.2	การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat transfer coefficient, h)	47
3.7	การวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ	49
3.7.1	การหาความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ	49
3.7.2	นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หา.....	49
3.7.3	การวัดสี.....	49
3.7.4	นำวัสดุที่ผ่านการอบไปทดสอบหาสารออกฤทธิ์ (สารฟลาโวนอยด์และสารฟีนอลิก) ของวัสดุแต่ละชนิด.....	50
บทที่ 4	ผลการดำเนินการ.....	51

4.1 ผลการสร้างและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก.....	52
4.2 สมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก.....	57
4.2.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งเทอร์โมอิเล็กทริกในการ อบแห้งพืชสมุนไพร (ใบพลูควาว ใบย่านาง และใบย่านางแดง).....	57
4.2.2 อิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง เทอร์โมอิ เล็กทริกในการอบแห้งพืชสมุนไพร (ใบพลูควาว ใบย่านาง และใบย่านางแดง).....	59
4.3 ผลการทำนายอุณหภูมิออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิ เล็กทริก.....	62
4.4 จนพลศาสตร์ของการอบแห้งด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก.....	64
4.5 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้ง.....	67
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....	69
5.1 สรุปผล.....	69
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	70
บรรณานุกรม.....	71
ภาคผนวก.....	76
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ.....	77
ภาคผนวก ข อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกในระหว่างการ อบแห้งใบย่านางที่สภาวะต่าง ๆ.....	83
ภาคผนวก ค อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกในระหว่างการ อบแห้งใบพลูควาวที่สภาวะต่างๆ.....	88
ภาคผนวก ง อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกในระหว่างการ อบแห้งใบย่านางแดงที่สภาวะต่างๆ.....	95
ประวัติผู้เขียน.....	102

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 สมบัติที่สำคัญของเรอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ Tianjin lantian model TEC1-12710 China	33
ตารางที่ 4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance) ค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption) และ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER) ของเครื่องอบแห้งแบบเรอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ในการอบแห้งพืชสมุนไพร เมื่ออัตราการไหลของอากาศมีค่า 0.0043 kg/s.....	57
ตารางที่ 4.2 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance) ค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ(Specific energy consumption) และ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER) ของเครื่องอบแห้งแบบเรอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ในการอบแห้งพืชสมุนไพร เมื่ออัตราการไหลของอากาศมีค่า 0.0076 kg/s.....	58
ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) ค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ(Specific Energy Consumption, SEC) และ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER) ของเครื่องอบแห้งแบบเรอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ ในการอบแห้งพืชสมุนไพร เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	59
ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ(Coefficient of Performance)ค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption) และ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER) ของเครื่องอบแห้งแบบเรอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ ในการอบแห้งพืชสมุนไพร เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	60
ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance) ค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption) และ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER) ของเครื่องอบแห้งแบบเรอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ ในการอบแห้งพืชสมุนไพร เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	60
ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านร้อนและด้านเย็นของชุดเรอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ระหว่างการทดลองและการทำนายในการอบใบพลูควา.....	62

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าอนุมูลอิสระที่ออกจากด้านร้อนและด้านเย็นของชุดเธอร์โมอิเล็กทริก ระหว่างการทดลองและการทำนายในการอบไอน้ำนางแดง	63
ตารางที่ 4.8 ปริมาณฟลาโวนอยด์ (mg quercetin equivalent/ 100 mg extract) ในใบพลูคาวที่ ผ่านการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ	67
ตารางที่ 4.9 ปริมาณฟีนอลิก (mg gallic acid equivalent/ 100 mg extract) ในใบพลูคาวที่ผ่าน การอบแห้งที่สภาวะต่างๆ.....	68
ตารางที่ ข.1 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที.....	84
ตารางที่ ข.2 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที.....	85
ตารางที่ ข.3 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที.....	86
ตารางที่ ข.4 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที.....	87
ตารางที่ ค.1 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที.....	89
ตารางที่ ค.2 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที.....	90
ตารางที่ ค.3 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที.....	91
ตารางที่ ค.4 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที.....	92
ตารางที่ ค.5 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที.....	93
ตารางที่ ค.6 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที.....	94
ตารางที่ ง.1 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที	96
ตารางที่ ง.2 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที	97
ตารางที่ ง.3 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที	98
ตารางที่ ง.4 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที	99
ตารางที่ ง.5 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที	100
ตารางที่ ง.6 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที	101

สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบที่ 2.1 เส้นโค้งการอบแห้งของผลิตภัณฑ์	7
ภาพประกอบที่ 2.2 แสดงรูปของน้ำอิสระและเกาะติดในอาหารหรือผลิตภัณฑ์	8
ภาพประกอบที่ 2.3 เฮอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ a) ขณะทำความเย็น b) ขณะทำความร้อน	12
ภาพประกอบที่ 2.4 เฮอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ขณะผลิตไฟฟ้า	13
ภาพประกอบที่ 2.5 ใบพลูควาและดอกพลูควา	16
ภาพประกอบที่ 2.6 ลักษณะของใบย่านาง	18
ภาพประกอบที่ 2.7 ลักษณะของใบและดอกของย่านางแดง	21
ภาพประกอบที่ 2.8 เครื่องทำน้ำอุ่นเฮอร์โมอิเล็กทรอนิกส์	24
ภาพประกอบที่ 3.1 เครื่องอบแห้งแบบเฮอร์โมอิเล็กทรอนิกส์	32
ภาพประกอบที่ 3.2 เฮอร์โมอิเล็กทรอนิกส์โมเดลยี่ห้อ Tianjin lantian model TEC1-12710, China	33
ภาพประกอบที่ 3.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้า	34
ภาพประกอบที่ 3.4 การติดตั้งเฮอร์โมอิเล็กทรอนิกส์เข้ากับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้า	35
ภาพประกอบที่ 3.5 พัดลมดูดอากาศแบบหอยโข่ง (centrifugal fan)	35
ภาพประกอบที่ 3.6 พัดลมระบายอากาศแบบตามแนวแกน (axial fan)	36
ภาพประกอบที่ 3.7 เครื่องอบแห้งแบบเฮอร์โมอิเล็กทรอนิกส์	37
ภาพประกอบที่ 3.8 การเคลื่อนที่ของอากาศภายในระบบ	38
ภาพประกอบที่ 3.9 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger)	39
ภาพประกอบที่ 3.10 เครื่องจ่ายไฟ (Power supplies)	39
ภาพประกอบที่ 3.11 สายเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K	40
ภาพประกอบที่ 3.12 เครื่องวัดความเร็วลม	40
ภาพประกอบที่ 3.13 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์	41

ภาพประกอบที่ 3.14 เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า (VICTOR 9805A).....	41
ภาพประกอบที่ 3.15 เครื่องวัดสีฮันเตอร์ (Hunter).....	42
ภาพประกอบที่ 3.16 เครื่องน้ำหนักดิจิตอล.....	42
ภาพประกอบที่ 3.17 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven).....	43
ภาพประกอบที่ 3.18 แสดงตำแหน่งในการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ลในการวัดอุณหภูมิและตำแหน่งในการวัดความเร็วลม	44
ภาพประกอบที่ 3.19 ลักษณะใบสมุนไพรแห้งก่อนนำเข้าตู้อบ (ก) ใบพลูควาศสดหั่น (ข) ใบย่านางสดหั่น (ค) ใบย่านางแดงสดหั่น.....	45
ภาพประกอบที่ 4.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก	52
ภาพประกอบที่ 4.2 แสดงตำแหน่งในการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ลในการวัดอุณหภูมิ (จุดสีเหลือง) และตำแหน่งในการวัดความเร็วลม (จุดสีเขียว).....	54
ภาพประกอบที่ 4.3 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกในระหว่างการอบแห้งใบพลูควาศที่อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 40 °C และ 0.0046 kg/s ตามลำดับ	55
ภาพประกอบที่ 4.4 แสดงพฤติกรรมขณะอบแห้งของสมุนไพรชนิดต่างๆที่อุณหภูมิ 40 °C ความเร็วลมในห้องอบ 0.45 m/s จนเหลือความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 7.5 มาตรฐานแห้ง	64
ภาพประกอบที่ 4.5 แสดงพฤติกรรมขณะอบแห้งของสมุนไพรชนิดต่างๆที่อุณหภูมิ 50 °C ความเร็วลมในห้องอบ 0.25 m/s จนเหลือความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 7.5 มาตรฐานแห้ง	65
ภาพประกอบที่ 4.6 แสดงพฤติกรรมขณะอบแห้งของสมุนไพรชนิดต่างๆที่อุณหภูมิ 50 °C ความเร็วลมในห้องอบ 0.45 m/s จนเหลือความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 7.5 มาตรฐานแห้ง	65



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญมากกระบวนการหนึ่ง ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร กระดาษและเยื่อกระดาษ เทคโนโลยีชีวภาพ ยา และพอลิเมอร์ เป็นต้น ซึ่งเป็นกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มความชื้นในวัสดุออกสู่ภายนอกโดยอาศัยหลักการการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลสาร สำหรับประเทศไทยซึ่งมีผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมากและอาหารหลากหลายชนิด การอบแห้งนับเป็นกระบวนการสำคัญในการถนอมรักษาผลผลิตทางการเกษตรและอาหารให้สามารถเก็บไว้ได้เป็นเวลานาน เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศ (Dinani et al., 2014) ลดพื้นที่ในการจัดเก็บจึงสะดวกในการขนส่งส่งผลให้เกิดมูลค่าเพิ่มกับผลผลิตทางการเกษตรและอาหารของประเทศเป็นอย่างมาก กระบวนการอบแห้งนั้นสามารถทำได้โดยใช้แหล่งพลังงานหลายชนิด และใช้เทคนิคการอบแห้งได้หลายอย่าง เช่น การอบแห้งโดยใช้ความร้อนจากฮีทเตอร์ ต้องใช้พลังงานไฟฟ้ามากเพื่อทำให้เกิดพลังงานความร้อนส่งผลให้การอบแห้งนั้นเป็นกระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายสูง การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งการอบแห้งแบบนี้จะอาศัยความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ จึงขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศในช่วงเวลาที่อบแห้งเป็นสิ่งสำคัญ ทำให้ประสิทธิภาพจากการอบแห้งไม่แน่นอน นอกจากนี้ยังมีการอบแห้งโดยใช้ความร้อนจากระบบปั๊มความร้อน (Heat pump) ประเภทใช้ความร้อนจากคอนเดนเซอร์ (Condensor) และลดความชื้นจากอีแวปเปอร์เรเตอร์ (Evaporator) ระบบปั๊มความร้อนแบบนี้เป็นระบบอัดไอจึงจำเป็นต้องใช้สารทำความเย็น CFC (Chlorofluorocarbon) (Hii, Law and Law, 2013) ซึ่งส่งผลต่อสภาวะโลกร้อน ในขณะที่โลกกำลังเข้าสู่ยุควิกฤตพลังงาน บวกกับสภาวะโลกร้อนที่มีแนวโน้มว่าความรุนแรงจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้หลายประเทศต่างๆทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยต้องปรับตัวและหาแหล่งพลังงานความร้อนเพื่อมาใช้ทดแทนแหล่งพลังงานความร้อนดังกล่าว เฮอร์โมอิเล็กทริกเป็นระบบปั๊มความร้อนแบบอิเล็กทรอนิกส์ ปั๊มระบายความร้อนจากด้านเย็นไปด้านร้อน โดยอาศัยปรากฏการณ์ Peltier ซึ่งเป็นระบบที่ใช้กระแสไฟฟ้าสร้างความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเฮอร์โมอิเล็กทริก จึงเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาด ไม่ปล่อยมลพิษ ไม่ใช้สารที่ก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน นอกจากนี้ยังไม่มีส่วนประกอบที่เคลื่อนไหวได้จึงไม่ส่งเสียงดัง ไม่ต้องการการบำรุงรักษา และมีความกะทัดรัด (Liu, Zhao and Tang, 2008) (Ramousse et al., 2015) (Kim et al., 2014) (Siviter, Montecucco and Knox, 2015) ดังนั้น

เครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกจึงอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถนำมาใช้ในกระบวนการอบแห้ง

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งใบย่านางด้วยเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกโดยทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ที่ความเร็วลม 0.2 เมตรต่อวินาที ปริมาณอากาศไหลกลับร้อยละ 100 และอุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส ถือเป็นสภาวะการอบแห้งที่ดีที่สุด โดยที่สภาวะดังกล่าวจะให้ใบย่านางอบแห้งที่มีลักษณะสีใกล้เคียงกับใบย่านางตากแดด และเครื่องอบแห้งจะมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและสัมประสิทธิ์สมรรถนะเท่ากับ 13.8 กิโลวัตต์ - ชั่วโมงต่อกิโลกรัมน้ำระเหยและ 1.53 ตามลำดับ (ปรีดา ไชยรงค์ศรี, 2556) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่นำเอาเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้ในเครื่องอบผ้าแบบ Closed-Type Thermoelectric โดยออกแบบให้มีอากาศหมุนเวียนเพื่อนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ และทำการศึกษแบบจำลองคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อนในมิติของความร้อนและกำลังไฟฟ้า ทั้งการผลิตความร้อนและความเย็นมีความสัมพันธ์กันในเทอมของความต้านทานไฟฟ้า, การนำความร้อน และกระแสไฟฟ้า การทดลองนี้พยายามควบคุมอุณหภูมิอบแห้ง กำลังไฟฟ้า ในขณะที่เริ่มต้น และน้ำหนักของผ้าเปียก โดยวัดผลจากอัตราการแห้งและอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) พบว่าอัตราการ อัตราการทำแห้งเพิ่มขึ้นในช่วงแรก และลดลงเมื่อเวลาผ่านไป อัตราการระเหยน้ำจำเพาะอยู่ในช่วง 1.5-3.8 kg/kWh และยิ่งพบอีกว่า สมรรถนะของเทอร์โมอิเล็กทริกขึ้นอยู่กับค่าปัจจัยต่างๆที่ทำการทดลองเป็นอย่างมาก (Liu, Zhao and Tang, 2008)

สมุนไพร (Medicinal Plant หรือ Herb) เป็นพืชตามธรรมชาติและเป็นภูมิปัญญาพื้นบ้านที่สำคัญ ซึ่งสามารถนำไปประโยชน์ได้มากมาย เช่น เป็นยารักษาโรค บริโภคเป็นอาหาร เป็นอาหารเสริมสุขภาพ สีส้มอาหาร สีย้อม เครื่องสำอาง ตลอดจนนำมาทำเป็นเครื่องดื่มได้อีกด้วย โดยเฉพาะการนำสมุนไพรมาทำเป็นเครื่องดื่มในการบริโภคเช่นเดียวกับการชงชา ชาสมุนไพร คือ ผลิตภัณฑ์จากพืชอาจเป็นส่วนของลำต้น ใบ หรือ ราก ซึ่งมักนำส่วนต่างๆดังกล่าวมาอบให้แห้ง แล้วนำไปแปรรูปโดยการหั่นหรือบดเป็นต้น โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อนำไปบริโภคโดยการต้มหรือชงกับน้ำดื่ม ชาสมุนไพรจัดเป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 280) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 เรื่องชาสมุนไพร ต้องที่คุณภาพมาตรฐานตามกำหนด และผ่านการตรวจสอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) จึงสามารถผลิตหรือนำเข้ามาเพื่อออกจำหน่ายได้ การวิจัยครั้งนี้ได้นำพืชสมุนไพร คือ พลุคาว (*Houttuynia cordata* Thunb) ซึ่งพลุคาวมีฤทธิ์ เป็นยาช่วยย่อย บรรเทาอาการอักเสบ และขับระดู ใบใช้ในการรักษาโรคผิวหนัง แก้บิด และริดสีดวงทวารได้ (Chio et al., 2016, Xu et al., 2006, Yang et al., 2006) ใบย่านาง (*Tiliacora triandra*) ใบย่านาง เป็นสมุนไพรเย็น มีคลอโรฟิลล์สดจากธรรมชาติ และยังมีวิตามินที่จำเป็นต่อร่างกายอีกมากมาย เช่น วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 วิตามินซี ธาตุแคลเซียม ธาตุฟอสฟอรัส

ธาตุเหล็ก เบต้าแคโรทีนในปริมาณค่อนข้างสูง (Kornkanok et al., 2003) และ ใบย่านางแดง (*Bauhinia strychnifolia* Craib.) สรรพคุณช่วยบำรุงธาตุในร่างกาย ช่วยบำรุงหัวใจ แก้โรคหัวใจ บวม ช่วยดับพิษร้อนภายในร่างกาย (Phadungkit, 2012) ซึ่งพืชทั้ง 3 ชนิดเป็นพืชสมุนไพรพื้นบ้านที่มีอยู่ทั่วไปในประเทศไทยโดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จึงเหมาะที่จะนำมาทำเป็นชาสมุนไพร เพื่อเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่พืชสมุนไพรทั้ง 3 ชนิดดังกล่าว

จากความน่าสนใจของการนำเออร์โมอิลีเกทริกมาประยุกต์ใช้ในระบบอบแห้งดังกล่าวและความน่าสนใจของชาสมุนไพรดังกล่าวมาข้างต้น วิทยานิพนธ์นี้จึงมีแนวคิดนำเออร์โมอิลีเกทริกที่มีคุณสมบัติที่ดีมาอบแห้งสมุนไพรข้างต้น โดยจะทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบเออร์โมอิลีเกทริกและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งสร้างแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของเออร์โมอิลีเกทริกเพื่อใช้อธิบายปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการอบแห้ง

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 สร้างและทดสอบระบบอบแห้งด้วยเออร์โมอิลีเกทริก
- 1.2.2 หาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของระบบอบแห้งด้วยเออร์โมอิลีเกทริก
- 1.2.3 ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเออร์โมอิลีเกทริก
- 1.2.4 ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งด้วยเออร์โมอิลีเกทริก
- 1.2.5 วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้ง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ใช้เออร์โมอิลีเกทริกโมดูล (TEC1-12710) ขนาด 40 x 40 x 3.5 ลูกบาศก์มิลลิเมตร จำนวน 4 โมดูล
- 1.3.2 ห้องอบแห้งเป็นแบบถาด (Tray dryer)
- 1.3.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่ทำการศึกษา ได้แก่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส
- 1.3.4 ความเร็วลมในห้องอบแห้งที่ทำการศึกษา ได้แก่ 0.25 และ 0.45 เมตรต่อวินาที
- 1.3.5 พืชท้องถิ่นที่นำมาศึกษา คือ พลุควา (*Houttuynia cordata* Thunb) ใบย่านาง (*Tiliacora triandra* (Colebr) Diels) และ ใบย่านางแดง (*Bauhinia strychnifolia* Craib.) ที่ขึ้นในจังหวัดมหาสารคาม
- 1.3.6 สมบัติของพืชท้องถิ่นอบแห้งที่ทำการทดสอบได้แก่ ปริมาณความชื้น, ปริมาณสารออกฤทธิ์ (ปริมาณฟลาโวนอยด์ และ ปริมาณฟีนอลิก)

1.3.7 สมรรถนะของเครื่องอบแห้งที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of performance, COP), ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER)

1.3.8 ศึกษาแบบจำลอง (Simulation) ทางคณิตศาสตร์ของไม้อีเล็กทริกที่ใช้ในการอบแห้ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบสมรรถนะและสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบเรอร์ไม้อีเล็กทริก

1.4.2 เป็นแนวทางในการนำเรอร์ไม้อีเล็กทริกมาใช้เป็นแหล่งให้ความร้อนสำหรับการอบแห้ง



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบเรอร์โมอิล็กทริกโดยใช้พืชในท้องถิ่นเป็นวัตถุดิบในการทดลอง ซึ่งมีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้นซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นพร้อมๆกัน ความร้อนที่ทำให้ไอน้ำระเหยออกจากวัสดุส่วนมากแล้วได้รับความร้อนมาจากความร้อนสัมผัสของอากาศ และการถ่ายเทความร้อนจะมีทั้งการนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะเป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนเป็นหลัก ซึ่งในการอบแห้งโดยทั่วไปมักใช้ใช้อากาศร้อนในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทอากาศร้อนไปยังวัสดุ ซึ่งความร้อนส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำ (Bantle, Käfer and Eikevik, 2013, Hossain, Gottschalk and Hassan 2013) โดยของเหลวที่อยู่ภายในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิววัสดุโดย Capillary flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (Surface force) ส่วนไอน้ำในวัสดุจะเคลื่อนที่เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor diffusion) และความดันไอ (Partial vapor of pressure) ที่ความแตกต่างระหว่างไอน้ำในวัสดุกับความชื้นถ้าผิวของวัสดุมีน้ำอยู่จำนวนมาก การลดลงของความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวจะคงที่ ส่งผลให้การอบแห้งคงที่ด้วย และเมื่อปริมาณน้ำที่ผิวของวัสดุลดลงมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวยอมเปลี่ยนแปลง กล่าวคืออุณหภูมิของวัสดุเพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มข้นของไอน้ำในวัสดุลดลง ส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นที่อยู่ระหว่างอัตราการอบแห้งคงที่และอัตราการอบแห้งลดลงเรียกว่า ความชื้นวิกฤต และอัตราการอบแห้งจะลดลงตลอดระยะเวลาการอบแห้ง จนกระทั่งความดันไอของของเหลวในวัสดุมีค่าไม่แตกต่างกับความดันไอของอากาศแวดล้อมในการอบแห้ง ความชื้นที่จุดสุดท้ายเรียกว่า ความชื้นสมดุล เป็นจุดที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนอีกต่อไป (นพรัตน์ อมัตริรัตน์, 2554)

การอบแห้งเป็นกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญกระบวนการหนึ่งเพื่อให้ผลผลิตทางการเกษตรมีความเหมาะสมต่อการเก็บรักษา คือ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่เสียหายเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทั้งนี้เนื่องจากผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะเก็บเกี่ยวทำให้เก็บรักษาได้ไม่นาน การอบแห้งจะช่วยให้สามารถเก็บรักษา

ผลิตผลได้เป็นระยะเวลายาวนานขึ้น ผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญและต้องทำการอบแห้งได้แก่ ธัญพืช ผลไม้ ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่แข็ง ผัก สมุนไพร เป็นต้น (เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, 2555)

2.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ การเคลื่อนย้ายน้ำออกจากวัสดุ ปัจจัยใดๆ ที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำจึงมีผลต่ออัตราการอบแห้ง ได้แก่

1. ธรรมชาติของวัสดุ วัสดุเนื้อโปร่งมีการเคลื่อนของน้ำภายในวัสดุแบบผ่าน แคบซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในวัสดุเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งเร็วกว่าวัสดุที่มีเนื้อแน่น วัสดุที่มีน้ำตาลสูงจะมีความเหนียวกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้า ส่วนวัสดุที่มีการลวก นวดคลึง ทำให้เซลล์แตกจึงแห้งเร็วกว่า

2. ขนาดและรูปร่าง ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น รูปร่างเหมือนกันขนาดเล็กจะมีพื้นที่ต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งเร็วกว่า แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่เคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ ถ้าชิ้นเล็กมากทับถมกัน การระเหยเกิดได้เฉพาะพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้าทั้งๆ ที่พื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก

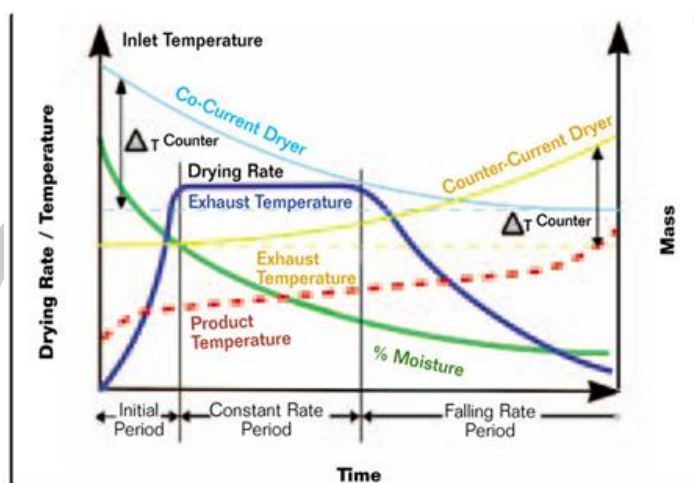
3. ตำแหน่งของวัสดุในเครื่องอบแห้ง น้ำในวัสดุที่สัมผัสกับอากาศร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับอากาศร้อนที่มีความชื้นต่ำจะระเหยได้ดีกว่า

4. ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากแล้วจะรับไอน้ำได้น้อยมีผลในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่

5. อุณหภูมิของอากาศร้อน ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ จึงมีผลต่ออัตราการทำแห้งคงที่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้น จึงมีผลต่อช่วงการทำแห้งลดลงด้วย

6. ความเร็วของอากาศร้อน อากาศร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้น การเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตรต่อวินาที นอกจากนั้นความเร็วลมยังทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนในเครื่องอบแห้ง อากาศจึงสัมผัสอากาศได้ดีขึ้น

สิ่งสำคัญสำหรับการอบแห้งหรือตากแห้งก็คือ การลดปริมาณความชื้น (Moisture content) ของผลิตภัณฑ์ เพื่อป้องกันการเน่าเสียในช่วงเวลาหนึ่ง กระบวนการอบแห้งประกอบด้วย 2 กระบวนการที่สำคัญ คือ การถ่ายเทความร้อนจากแหล่งความร้อนสู่ผลิตภัณฑ์ และถ่ายเทมวลความชื้นออกจากภายในผลิตภัณฑ์มาที่ผิว และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ ที่เวลาต่างๆ ออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้ (ไพโรจน์ ศิริรัตน์, 2549)



ภาพประกอบที่ 2.1 เส้นโค้งการอบแห้งของผลิตภัณฑ์
(Process-heating, 2014)

ช่วงที่ 1 ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ (Initial period) ของการอบแห้ง ช่วงนี้ วัสดุที่ใช้ในการอบแห้งมีปริมาณความชื้นอยู่มาก ผิวของวัสดุจะมีลักษณะเปียกชื้นมาก อุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของกระแสลมร้อน ดังนั้น ช่วงเวลานี้ ความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งจึงไปเพิ่มอุณหภูมิให้กับวัสดุ ทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้น

ช่วงที่ 2 ช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่ (Constant rate period) จะเป็นช่วงที่สองของการอบแห้ง อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าคงที่ ประสิทธิภาพของอุณหภูมิกระเปาะเปียกของกระแสลม พลังงานความร้อนที่วัสดุได้รับจะใช้ในการระเหยความชื้นของวัสดุเท่านั้น ทำให้อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยของวัสดุลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง

ช่วงที่ 3 ช่วงการอบแห้งความเร็วลดลง (Falling rate period) ช่วงนี้ความชื้นที่ผิวของวัสดุจะเริ่มค่อย ๆ หมดไป เพราะ การถ่ายเทความชื้นจากด้านในของวัสดุเกิดขึ้นไม่ทันกับการระเหยของความชื้นที่ผิวของวัสดุ ดังนั้น ที่ผิวของวัสดุจะเริ่มค่อย ๆ แห้งและอุณหภูมิของวัสดุจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการอบแห้งของช่วงนี้จะค่อย ๆ ลดลงนั่นเอง การอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่อความชื้นของวัสดุลดลงถึงค่าความชื้นสมดุล ซึ่งความชื้นของวัสดุจะไม่ลดลงอีก ถึงแม้จะใช้เวลาในการอบแห้งนานเท่าใดก็ตาม

จากกลไกการอบแห้งทางทฤษฎีนั้นสรุปได้ว่า กระบวนการอบแห้งไม่ใช่กระบวนการที่ราบเรียบติดต่อกันที่ปัจจัยเพียงอย่างเดียวสามารถควบคุมได้ และระยะเวลาของการอบแห้งสามารถแบ่งออกได้ 3 ระยะ ดังได้กล่าวมาแล้ว (พีระพงษ์ พิษสกุล, 2550)

2.2 ความชื้นของวัสดุ

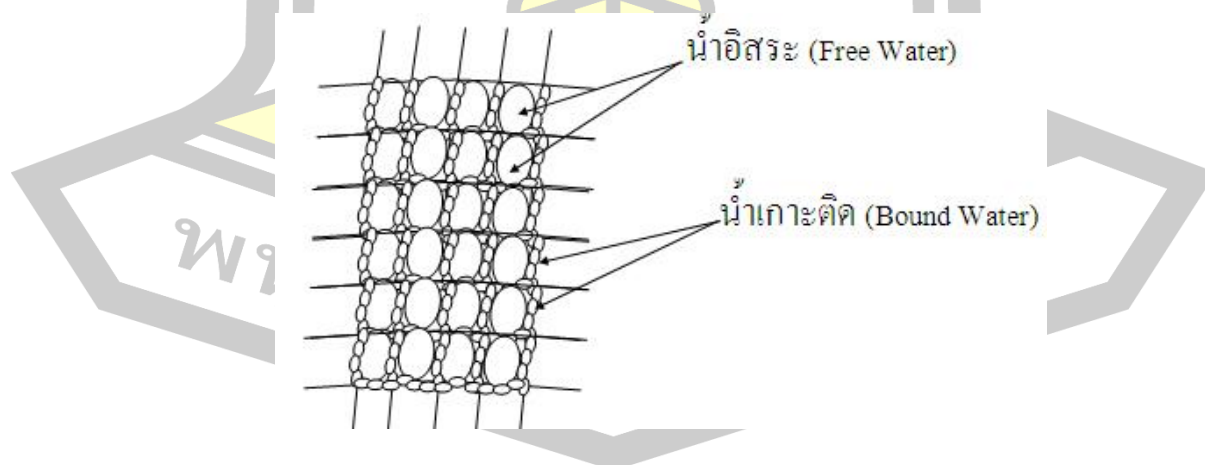
2.2.1 ค่าความชื้นหรือน้ำในผลิตภัณฑ์

คือปริมาณน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแบ่งได้ น้ำอิสระ (Free water) และน้ำเกาะติด (Bound water) รูปร่างของน้ำทั้งสองแสดงในภาพประกอบที่ 2.2 แสดงรูปของน้ำอิสระและน้ำเกาะติดในอาหารหรือผลิตภัณฑ์ภาพประกอบที่ 2.2 โดยน้ำอิสระ เป็นน้ำส่วนใหญ่ที่เจอในอาหารหรือผลิตภัณฑ์ ซึ่งอยู่รอบ ๆ และในเซลล์ของอาหาร สามารถทำให้น้ำชนิดนี้ออกได้โดยวิธีการง่าย คือ การระเหยน้ำออกด้วยความร้อน น้ำชนิดนี้มีผลต่อความสดของผักและผลไม้

ส่วนน้ำเกาะติด เป็นน้ำที่เกาะยึดอยู่กับโครงสร้างของอาหาร แยกออกจากอาหารได้ยาก น้ำเกาะติดกับสารอื่นด้วยพันธะทางเคมีที่แข็งแรง น้ำเกาะติด สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ โมโนเลเยอร์หรือโมเลกุลาร์เลเยอร์, มิลลิเลเยอร์หรือมัลติโมเลกุลาร์เลเยอร์ และน้ำในแคพซิลลารี โดยน้ำเกาะติดแต่ละชนิดอธิบายได้ ดังนี้

น้ำเกาะติดชนิดโมโนเลเยอร์ หรือโมเลกุลาร์เลเยอร์ (Monolayer or molecular layer) เป็นน้ำอยู่ในโครงสร้างของเนื้อเยื่อของอาหารหรือผลิตภัณฑ์ เกาะติดกับผลิตภัณฑ์ด้วยพันธะที่แข็งแรงมากไม่สามารถระเหยด้วยความร้อนธรรมดา จุลินทรีย์ไม่สามารถนำน้ำส่วนนี้ไปใช้ได้

น้ำเกาะติดชนิดมิลลิเลเยอร์หรือมัลติโมเลกุลาร์เลเยอร์ (Multilayer or multimolecular layer) เป็นน้ำในอาหารที่เกาะติดอยู่กับน้ำส่วนแรก มีคุณสมบัติเป็นตัวกระจายสารอาหารอื่นได้ ทำให้มีผลต่อความดันไอของอาหาร แต่เป็นน้ำที่จุลินทรีย์ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ การกำจัดน้ำส่วนนี้ต้องใช้พลังงานมากกว่าปกติในการระเหย



ภาพประกอบที่ 2.2 แสดงรูปของน้ำอิสระและน้ำเกาะติดในอาหารหรือผลิตภัณฑ์ (Thailandindustry, 2016)

น้ำในแคพพิลลารี (Capillary water) เป็นน้ำเกาะติดอยู่กับน้ำในส่วนที่สองอย่าง หลวมๆ จุลินทรีย์บางชนิดที่ต้องการความชื้นต่ำ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (ทงนศักดิ์ วัฒนา, 2555)

2.2.2. การหาค่าความชื้นหรือน้ำในผลิตภัณฑ์

ความชื้นในอาหาร คือปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร การระบุหรือการหาค่าความชื้นในอาหารหรือผลิตภัณฑ์นั้น สามารถทำได้ 2 วิธี คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก และความชื้นมาตรฐานแห้ง

ความชื้นมาตรฐานเปียก เป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักของน้ำกับน้ำหนักทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ สามารถเขียนเป็นสมการจะได้

$$\%MC_{wb} = \frac{M_w}{M_w + M_s} \times 100 \quad (2.1)$$

%MCwb คือ เปอร์เซนต์มาตรฐานเปียก

Mw คือ น้ำหนักของน้ำในอาหารหรือผลิตภัณฑ์

Ms คือ น้ำหนักของแข็งในอาหารหรือผลิตภัณฑ์

ความชื้นมาตรฐานแห้ง เป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักของน้ำกับน้ำหนักที่เป็นของแข็งของผลิตภัณฑ์ สามารถเขียนเป็นสมการจะได้

$$\%MC_{db} = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad (2.2)$$

%MCdb คือ เปอร์เซนต์มาตรฐานเปียก

Mw คือ น้ำหนักของน้ำในอาหารหรือผลิตภัณฑ์

Ms คือ น้ำหนักของแข็งในอาหารหรือผลิตภัณฑ์

การระบุค่าความชื้นในอาหาร หรือผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่จะระบุเป็นความชื้นมาตรฐานแห้ง เพราะสะดวกต่อการนำค่าที่ได้ไปใช้งาน เพราะค่าความชื้นที่วัดได้จะเทียบกับ 100 เช่น ถ้าระบุว่า วัสดุมีค่าความชื้น 25% มาตรฐานเปียก หมายความว่า มีน้ำในผลิตภัณฑ์ 25 กรัม ต่อของแข็ง 75 กรัม หรือ ต่อน้ำหนักทั้งหมด 100 กรัม แต่ถ้าระบุ 25% มาตรฐานแห้ง หมายความว่า มีน้ำ 25 กรัม

ต่อของแข็ง 100 กรัม ในผลิตภัณฑ์ เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปอบจนเหลือ ความชื้น 15% มาตรฐานแห่งนั้นหมายความว่า ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์หายไป $25 - 15 = 10$ กรัม ต่อ 100 กรัมของแข็ง สามารถนำค่ามาลบกันได้เลย แต่ถ้าระบุความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ เป็น 25% มาตรฐานเปียก หมายความว่า มีน้ำ 25 กรัม ในของแข็ง 75 กรัม และนำผลิตภัณฑ์ไปอบจนเหลือ 15% มาตรฐานเปียก หมายความว่า มีน้ำ 15 กรัม ในของแข็ง 85 กรัม ซึ่งไม่สามารถนำความชื้นมาลบกันได้ เนื่องจากค่าของแข็งมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้น ต้องทำค่าของแข็งของผลิตภัณฑ์ให้เท่ากันก่อน โดยการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ (ทองศักดิ์ วัฒนา, 2555)

2.3 อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio, MR)

อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio, MR) คือปริมาณของน้ำที่เหลืออยู่ในวัสดุที่กำลังอบแห้งเทียบกับปริมาณน้ำทั้งหมดที่อยู่ภายในวัสดุซึ่งสามารถระเหยได้ภายใต้สภาวะการอบแห้งหนึ่งๆ สามารถเขียนความสัมพันธ์เป็นสมการได้ว่า (Tasirin et al., 2014)

$$MR = \frac{M - M_{eq}}{M_o - M_{eq}} \quad (2.3)$$

เมื่อ M = ความชื้นของวัสดุ ณ เวลาใด (%d.b)

M_{eq} = ความชื้นสมดุลของวัสดุ (%d.b)

M_o = ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (%d.b)

ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content, M_{eq}) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการศึกษากระบวนการอบแห้งโดยเฉพาะ การศึกษาระยะเวลาการอบแห้ง (Drying period) เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความชื้นของวัสดุ ณ เวลาใดเวลาหนึ่งของ การอบแห้งกับความชื้นสมดุลของวัสดุคือการวัดความเป็นไปได้ หรือแรงขับเคลื่อนไอน้ำระหว่างวัสดุกับอากาศแวดล้อม นอกจากนี้ความชื้นสมดุลยังมีความสำคัญต่อการผสม (Mixing) การบรรจุ (Packaging) และการเก็บรักษา (Storage) ผลผลิตเกษตร เนื่องจากวัสดุการเกษตรเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและเต็มไปด้วยความชื้น การแลกเปลี่ยนความชื้น จะเกิดขึ้นระหว่างตัววัสดุเองกับสิ่งแวดล้อมจนกว่าวัสดุจะถึงจุดความชื้นสมดุล ซึ่งเป็นสภาพที่ไม่มีการเพิ่มหรือสูญเสียความชื้นอีกต่อไป ในสมการค่า M_{eq} ของวัสดุนั้นสามารถหาได้ 4 วิธี ดังนี้ (สุนทร สืบคำ และ ฤทธิชัย อัครราชันย์, 2554)

1. จากเอกสารอ้างอิงที่น่าเชื่อถือที่มีการศึกษาเรื่องความชื้นสมดุลของวัสดุที่เกี่ยวข้อง

2. จากการทดลองโดยการปล่อยให้วัสดุเข้าสู่จุดสมดุลกับสภาวะการอบแห้งหนึ่งๆ แล้วนำตัวอย่างที่เข้าสู่จุดสมดุลแล้วไปตรวจวัดหาความชื้น ความชื้นที่ได้คือความชื้นสมดุลวิธีการนี้หากวัสดุใช้เวลานานในการเข้าสู่จุดสมดุล วัสดุอาจเกิดการเปลี่ยนแปลง เป็นสีน้ำตาล (Browning) หรือไหม้ได้ (Lee and Hsieh, 2008) ค่ามวลที่ได้จะไม่ใช่มวลที่แท้จริงแต่จะเป็นเถ้า (Ash)

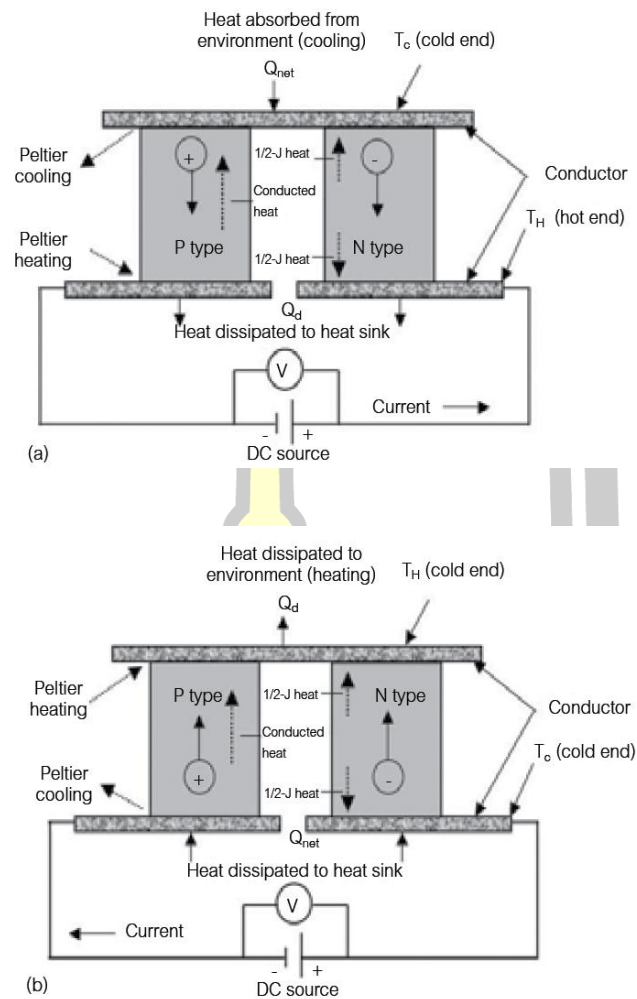
3. จากวิธีอ้อมโดยพล็อตอัตราการอบแห้ง (dM/dt) กับความชื้นของวัสดุแล้วทำการ Extrapolate หาค่าความชื้นสมดุลได้จากจุดที่อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นมีค่าน้อยมากหรือเข้าใกล้ศูนย์

4. จากการกำหนดให้ความชื้นสมดุลของวัสดุมีค่าเป็นศูนย์สำหรับการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ แต่หากเป็นการอบแห้งแบบพาความร้อน ความชื้นสมดุลต้องมีค่าไม่เป็นศูนย์ แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัย ของ (Waewsak, Chindaruksa and Punlek, 2006) และ (Dinani et al., 2014) ซึ่งศึกษาการอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot-air drying) ก็ยังตั้งสมมุติฐานให้ค่าความชื้นสมดุลมีค่าเป็นศูนย์

2.4 เฮอร์มิโอเล็กทริก (Thermoelectric)

2.4.1 เทคโนโลยีเฮอร์มิโอเล็กทริก

ในปี พ.ศ.2364 โทมัส โจแฮนน ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ได้ค้นพบว่า เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างรอยต่อของตัวนำสองชนิดจะทำให้เกิดไฟฟ้าไหลในวงจรปิด ซึ่งปรากฏการณ์นี้ถูกเรียกว่า ปรากฏการณ์ซีเบค (seebeck effect) ต่อมาในปี พ.ศ 2377 ยีน เพลทีเยอร์ ชาร์เลส อะธานเนส (Jean Charle Athanase Peltier) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ได้ค้นพบว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำสองชนิดที่ต่อกัน จะมีความร้อนเกิดขึ้นที่รอยต่อของตัวนำสองชนิด ความร้อนจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งปรากฏการณ์นี้ถูกเรียกว่า ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์ (peltier effect) จากการค้นพบปรากฏการณ์ทั้งสอง ได้ถูกนำมาพัฒนาจนกระทั่งได้ขึ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบด้วย ตัวนำสองชนิดที่ต่อกันแบบอนุกรมทางไฟฟ้า และขนานกันทางความร้อน ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้ถูกเรียกต่อมาว่า เฮอร์มิโอเล็กทริก 20 ปีต่อมา ได้มีการค้นพบว่า เมื่อนำสารกึ่งตัวนำมาใช้แทนสารตัวนำในการสร้างเฮอร์มิโอเล็กทริก จะให้ค่าประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น จากนั้นการประยุกต์ใช้อุปกรณ์เฮอร์มิโอเล็กทริกจึงกลายเป็นหัวข้อวิจัยใหม่ที่น่าสนใจในสหรัฐอเมริกา ยุโรป และญี่ปุ่น จนถึงปัจจุบัน (สมชาย เจริญจิตต์ สวัสดิ์, 2554)

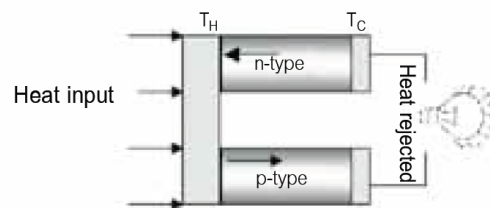


ภาพประกอบที่ 2.3 เซอร์โมอิเล็กทริก a) ขณะทำความเย็น b) ขณะทำความร้อน (Riffat, Ma and Wilson, 2006)

2.4.2 หลักการทำงานของเซอร์โมอิเล็กทริก

เซอร์โมอิเล็กทริก เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานที่ทำจากสารกึ่งตัวนำที่สามารถสร้างความเย็นและความร้อนได้ จากปรากฏการณ์พอลทีเยอร์ที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น หลักการทำงานของอุปกรณ์มีดังนี้ เมื่อให้ไฟฟ้ากระแสตรง (DC current) ไหลผ่านสารกึ่งตัวนำสองชนิด (ชนิด n และ p) ที่อยู่ภายในอุปกรณ์ ด้านหนึ่งของอุปกรณ์จะเย็น (cold end) และอีกด้านหนึ่งของอุปกรณ์จะร้อน (hot end) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.3a อุณหภูมิทางด้านเย็น (T_c) จะลดลง ในขณะที่ความร้อนจะถูกดูดจากสิ่งแวดล้อม (heat absorbed) การดูดความร้อนของเซอร์โมอิเล็กทริกทางด้านเย็นจะไปกระตุ้นให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำชนิด p ที่มีระดับพลังงานต่ำกว่าไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด n ที่มีระดับพลังงานสูงกว่า และปล่อยความร้อนที่อิเล็กตรอนได้รับทางด้านร้อนของ

อุปกรณ์ ในทางตรงกันข้าม ถ้าเปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก จะร้อน ส่วนด้านร้อนจะกลายเป็นเย็น ดังแสดงใน ภาพประกอบที่ 2.3b สำหรับความสามารถในการทำความเย็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าน้อย เมื่อเทียบการทำความร้อน เนื่องจากความเย็นที่ผลิตได้ถูกลดทอนจากความร้อนไหลย้อนกลับที่เกิดจากความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อน และด้านเย็น (conducted heat) และความร้อนที่เกิดจากความต้านทานไฟฟ้า (joule heat) อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกนั้น ยังสามารถผันความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อีกด้วย จากปรากฏการณ์ซีเบคที่กล่าวไปแล้ว หลักการทำงานของอุปกรณ์เพื่อเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้ามีดังนี้ เมื่อให้แหล่งความร้อนที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ดังภาพประกอบที่ 2.4 ความร้อนที่เทอร์โมอิเล็กทริกได้รับจะไปกระตุ้นการไหลของอิเล็กตรอนภายในสารกึ่งตัวนำ จึงทำให้เกิดกระแสไหลภายในวงจร เมื่อต่อเข้ากับหลอดไฟฟ้าจะทำให้เกิดแสงสว่างขึ้น



ภาพประกอบที่ 2.4 เทอร์โมอิเล็กทริกขณะผลิตไฟฟ้า

2.5 สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance) ของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก

อัตราการถ่ายเทความร้อน สัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก (Dai, Wang and Ni, 2003) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{COP} = \frac{Q_h}{P} \quad (2.4)$$

เมื่อ COP คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก

Q_h คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

P คือ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกและพัดลม (W)

เมื่ออัตราการถ่ายเทความร้อนคำนวณดังสมการที่ (2.7)

$$\dot{Q}_h = \dot{V}_{air} \rho_{air} C_{p,air} (T_{hot,out} - T_{hot,in}) \quad (2.5)$$

โดยที่ \dot{Q}_h	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อน (W)
\dot{V}_{air}	คือ อัตราการไหลของอากาศ (m^3/s)
ρ_{air}	คือ ความหนาแน่นของอากาศมีค่าเท่ากับ $1.225 (kg/m^3)$
$C_{p,air}$	คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศมีค่าเท่ากับ $1.004 (kJ/kg.K)$
$T_{hot,out}$	คือ อุณหภูมิอากาศออกด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)
$T_{hot,in}$	คือ อุณหภูมิอากาศเข้าด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

และเมื่อพิจารณาให้ระบบมีสภาวะคงที่ อัตราการทำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกจะขึ้นอยู่กับ 3 ปรากฏการณ์หลัก คือ Joule's effect, Peltier cooling effect and the thermal conduction สามารถหาได้จาก (M. Jradi et al., 2011)

$$Q_h = \alpha I T_h - 0.5 I^2 R - K(T_h - T_c) \quad (2.6)$$

เมื่อ α	คือ สัมประสิทธิ์ของซีแบ็ค $0.0444 V/K$
I	คือ มวลอากาศที่ไหลผ่านแผงระบายความร้อน (kg/s)
T_h, T_c	คือ อุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนและด้านเย็นตามลำดับ (K)
R	คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก 2.545Ω (Lertsatitthanakorn, Wiset and Atthajariyakul, 2009)
K	คือ ค่าสภาพนำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก $0.495 W/K$ (Lertsatitthanakorn, Wiset and Atthajariyakul, 2009)

สมการที่ 2.6 ใช้ค่าคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กในการคำนวณ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้มีค่าไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ สภาพการใช้งานและอายุการใช้งาน เพื่อสะดวกต่อการคำนวณผู้วิจัยจึงเลือกใช้สมการที่ 2.5

2.6 ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง (Energy Effectiveness)

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน สามารถแสดงได้ด้วยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER) ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.7 และสมการที่ 2.8

$$SE = \frac{3.6 P_e}{W_i - W_f} , \text{ MJ/kg water evap.} \quad (2.7)$$

$$SMER = \frac{W_i - W_f}{P_e} , \text{ kg water evap./ kWh} \quad (2.8)$$

เมื่อ W_i คือ มวลวัสดุก่อนอบแห้ง (kg)
 W_f คือ มวลวัสดุหลังอบแห้ง (kg)
 P_e คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)

2.7 ชาสมุนไพร

ชาสมุนไพร เป็นเครื่องดื่ม ซึ่งมีรูปแบบและวิธีการบริโภคเช่นเดียวกับชา (*Camellia sinensis* หรือ *Thea sinensis*) แต่ชาสมุนไพรผลิตจากพืชสมุนไพร ชนิดต่าง ๆ ที่มีกลิ่นรสที่หอมละมุน ทำให้ได้สรรพคุณต่างๆ ของพืชสมุนไพรที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ บำรุงสุขภาพ แก้อาการเป็นต้น วิธีการบริโภคชาสมุนไพร คือการใช้น้ำร้อน สกัดสารที่เป็นตัวยาสำคัญในช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อสกัดสารสำคัญ กลิ่นรส ที่ต้องการออกมาจากสมุนไพร

ประเภทของชาสมุนไพรมีหลักการจัดประเภทผลิตภัณฑ์ ดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์มีส่วนผสมของชาสมุนไพรไม่เกิน 10% จัดเป็น ชา ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 196) เช่น ใบชาเขียว 90% ผสมกับ มะตูมแห้ง 10% หรือ ใบชา 90% ผสมกับ ใบเจียวกู่หลาน 5% ใบหม่อน 5%,
2. ผลิตภัณฑ์มีส่วนผสมของชาสมุนไพรมากกว่า 10% และ/หรือน้อยกว่า 90% จัดเป็น เครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 214) เช่น ใบเตย 20% ผสมกับใบชา 80% หรือ ดอกเก๊กฮวย 50% ผสมกับ ใบชา 50%

3. ผลิตภัณฑ์มีส่วนผสมของชาสมุนไพรตั้งแต่ 90% ขึ้นไป จัดเป็น ชาสมุนไพร ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 280) เช่น มะตูมแห้ง 90% ผสมกับชาเขียว 10%, หรือใบเจียว กู้หลาน 50% ผสมกับใบหม่อน 40% และใบชา 10% หรือใบเตย 95% ผสมกับใบชา 5% (Foodnetworksolution, 2016)

2.8 ใบพลูคาว



ภาพประกอบที่ 2.5 ใบพลูคาวและดอกพลูคาว
(เมตไทย, 2560)

ชื่อสามัญ Plu Kaow ชื่อวิทยาศาสตร์ *Houttuynia cordata* Thunb. จัดอยู่ในวงศ์ผักคาวตอง (SAURURACEAE) ชื่อเรียกท้องถิ่นอื่น ๆ ว่า ผักคาวตอง (ลำปาง, อุตรดิตถ์) คาวทอง (อุตรดิตถ์, มุกดาหาร) ผักก้านตอง (แม่ฮ่องสอน) ผักคาวปลา, ผักเข้าตอง, ผักคาวตอง (ภาคเหนือ) ส่วนทางภาคกลางมักจะนิยมเรียกว่า พลูคาว (เมตไทย, 2560)

ผักคาวทอง เป็น พืชล้มลุกอายุหลายปี สูง 15-30 ซม. ลำต้นกลม สีเขียว รากแตกออกตามข้อ มีกลิ่นคาวทั้งต้น ใบ เป็นใบเดี่ยว ออกเรียงสลับ รูปหัวใจกว้าง 4-6 ซม. ยาว 6-10 ซม. ปลายใบเรียวแหลม โคนใบเว้ารูปหัวใจ ขอบใบเรียบ แผ่นใบเรียบ สีเขียว ด้านบนของใบเป็นสีเขียวเข้ม ด้านล่างออกสีม่วง ก้านใบยาวและโคนเป็นกาบหุ้มลำต้น ดอก ออกเป็นช่อที่ปลายยอด มีใบประดับสีเขียว 4 ใบ ที่โคนช่อดอก ปลายมน ดอกเล็กจำนวนมาก สีขาวออกเหลือง ผล เป็นผลแห้ง แตกออกได้ เมล็ดรี คาวทองเป็นยาสมุนไพรทั้งต้น เก็บในฤดูร้อน และฤดูหนาว ถอนทั้งต้นและราก ล้างให้สะอาด ตากแห้งเก็บไว้ใช้ ช่อดอก ดอกย่อย ช่อดอกแก่ ผล เมล็ด

2.8.1 การใช้ประโยชน์

ทั้งต้น รสฉุน เย็นจัด ขับปัสสาวะ แก้บวมน้ำ ฝีบวมอักเสบ ปอดอักเสบ หลอดลมอักเสบ ไอ บิด โรคติดเชื้อทางเดินปัสสาวะ หูชั้นกลางอักเสบ และริดสีดวงทวาร ถ้ารับประทานมากเกินไปจะทำให้หายใจสั้นและถี่ อาจเป็นอันตรายได้

ต้นสด ใช้ภายนอก พอกฝี บวมอักเสบ บาดแผล โรคผิวหนัง ดากออก งูพิษกัด และช่วยทำให้กระดูกเชื่อมติดกันเร็วขึ้น

ใบสด ผิงไฟพอนิ่ม ใช้พอกเนื้องอกต่าง ๆ ใบสดใช้ป้องกันปลาเน่าเสีย ต้มน้ำรดต้นฝ้าย ข้าวสาลี และข้าว ป้องกันพืชเป็นโรคเหี่ยวเฉาตาย พืชนี้ใช้รับประทานเป็นยาระบาย ขับพยาธิ แก้ไข้ อาหารไม่ย่อย ท้องเสีย ออกหัด

ดอก ใช้ขับทารกที่ตายในท้อง ใช้พืชนี้ต้มน้ำรับประทานติดต่อกันเป็นประจำ แก้โรคน้ำกัดเท้า อาจรับประทานน้ำต้มจากพืชอย่างเดี่ยวหรือผสมวิตามินเอและวิตามินรวมด้วย ได้มีการขจัดทะเบียนสิทธิบัตรตำรับยานี้ นอกจากนี้มีผู้ขอจดทะเบียนสิทธิบัตรเครื่องสำอางใช้น้ำมันจากผักควาทองเป็นครีมทาแก้ผิวหนังหยาบกร้าน และใช้ป้องกันผิวหนังแตกเป็นร่อง

ในเนपालใช้ลำต้นใต้ดิน ในตำรับยาที่เกี่ยวข้องกับโรคของสตรี ใช้ทั้งต้นเป็นยาช่วยย่อย บรรเทาอาการอักเสบ และขับระดู ใบใช้ในการรักษาโรคผิวหนัง แก้บิด และริดสีดวงทวาร ในตำรายาจีนเรียกอู๋ซิงเฉ่า (ภาษาจีนกลาง) หรือ ฮื่อแซเฉ่า (ภาษาจีนแต้จิ๋ว) ลำต้นใช้เป็นยาช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย ช่วยต้านแบคทีเรีย

2.8.2.ปริมาณที่ใช้

ทั้งต้นแห้ง 15-30 กรัม (สด 30-60 กรัม) ต้มน้ำดื่ม ก่อนดื่มให้แช่น้ำไว้สัก 1-3 นาที ต้มให้เดือดประมาณ 5 นาที (ถ้าใช้ร่วมกับยาอื่น ให้ต้มยาอื่นให้เดือดก่อนจึงใส่ยานี้ต้มให้เดือด ต้ม) ใช้สด ตำคั้นเอาน้ำดื่ม ใช้ภายนอก ต้มเอาน้ำชะล้างหรือตำพอก

2.8.3.สารเคมีที่พบ

พบว่าทั้งต้น มีโปแตสเซียมคลอไรด์ โปแตสเซียมซัลเฟต และ cordarine ในญี่ปุ่น : มีน้ำมันระเหย 0.0049% ประกอบด้วยสารมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อ คือ Decanoyl acetaldehyde และยังมี methyl - n - nonylketone, myrcene, lauric aldehyde, capric aldehyde, capric acid ในจีน: มีน้ำมันระเหย ประกอบด้วย Decanoyl acetaldehyde dodecanaldehyde, 2-undecanone, caryophyllene α -pinene, d-limonene, camphene, myrcene, linalool, และ bornyl acetate ดอกและใบประกอบด้วย Quercirin, Isoquercitrin, quercetin, reynoutrin และ hyperin ราก มีน้ำมันหอมระเหย ที่ประกอบด้วย decanoyl acetaldehyde. (Lin et al., 2006) (Zhang, Li and Wu, 2008)

2.9 ใบย่านาง



ภาพประกอบที่ 2.6 ลักษณะของใบย่านาง

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Tiliacora triandra* (Colebr) Diels

ชื่อสามัญ : Bambo grass

วงศ์ : Menispermaceae

ชื่อพื้นเมือง : ภาคกลาง เก่าย่านาง, เกาหญ้านาง, เกาวัลย์เขียว, หญ้าภคินี
เชียงใหม่จ้อยนาง, จอยนาง, ผักจอยนาง

ภาคอีสาน ย่านาง

ภาคใต้ ย่านาง, ยานนาง, ชันยอ สุราษฎร์ธานี ยาดนาง, วันยอ

ไม่ระบุถิ่น เครือย่านาง, ปู่เจ้าเขาเขียว, เกาเขียว, เครือเขางาม

2.9.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของย่านาง

ต้น เป็นไม้เถาเลื้อย เกี่ยวพันไม้อื่น เป็นเถากลมๆ ขนาดเล็ก แต่เหนียว มีสีเขียว
เมื่อเถาแก่จะมี สีเข้มคล้ำ บริเวณเถามีข้อห่างๆ เถาอ่อนมีขนอ่อนปกคลุม เมื่อแก่แล้วผิวค่อนข้าง
เรียบ

ราก มีหัวใต้ดิน รากมีขนาดใหญ่

ใบ เป็นใบเดี่ยว ออกติดกับลำต้นแบบสลับ รูปร่างใบคล้ายรูปไข่หรือรูปไข่ขอบขนาน
ปลายใบเรียว ฐานใบมนขนาดใบยาว 5 – 10 เซนติเมตร กว้าง 2 – 4 เซนติเมตร ขอบใบเรียบ ก้าน
ใบยาว 1 เซนติเมตร หน้าและหลังใบเป็นมัน

ดอก ออกตามซอกโคนก้านใบเป็นช่อยาว 2 – 5 เซนติเมตร ช่อหนึ่ง ๆ มีดอกขนาดเล็ก
สีเหลือง 3 – 5 ดอก ดอกแยกเพศอยู่คนละต้นไม่มีกลีบดอก ขนาดเล็กกว่าเมล็ดงาเล็กน้อย ต้นเพศผู้

จะมีดอกสีน้ำตาล อับเรณูสีเหลืองอ่อน ดอกย่อยของต้นเพศผู้จะมีขนาดเล็ก ก้านช่อดอกมีขนสั้นๆ ละเอียด ปกคลุมหนาแน่น ออกดอกช่วงเดือนเมษายน

ผล รูปร่างกลมรีขนาดเล็ก สีเขียว เมื่อแก่เป็นสีเหลืองอมแดงและกลายเป็นสีดำ

เมล็ด เมล็ดแข็งรูปเกือบกลม แหล่งที่พบ ย่านางเป็นพืชที่พบในแหล่งธรรมชาติ ป่าทั่วไป ที่มีอากาศชุ่มชื้นบริเวณป่าผลผลิตใบป่าดงดิบ และป่าโปร่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมทั้งภาคอื่นก็มีกระจายทั่วไป

การปลูกและขยายพันธุ์ ย่านางเป็นพืชที่ขึ้นในดินทุกชนิด และปลูกได้ทุกฤดู ขยายพันธุ์โดยใช้หัวใต้ดิน แยกแ่งที่ติดหัว ปักชำยอด หรือการเพาะเมล็ด เป็นไม้ที่ปลูกง่าย ปลูกเป็นหลุมหรือยกร่องก็ได้

2.9.2 ประโยชน์ทางยาของย่านาง

ใบย่านาง สรรพคุณนั้นมีหลากหลาย เพราะเป็นสมุนไพรเย็น มีคลอโรฟิลล์สดจากธรรมชาติ และยังมีวิตามินที่จำเป็นต่อร่างกายอีกมากมาย เช่น วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 วิตามินซี ธาตุแคลเซียม ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก เบต้าแคโรทีนในปริมาณค่อนข้างสูง โดยเป็นสมุนไพรที่ใครหลาย ๆ คนต่างก็คุ้นเคยกันดี เพราะนิยมนำมาเป็นเครื่องปรุงรสช่วยเพิ่มความกลมกล่อมของอาหาร เช่น แกงหน่อไม้ ซุปหน่อไม้ แกงเลียง แกงหวาน เป็นต้น

สารเคมีสำคัญที่พบในย่านาง รากย่านางมี isoquinolone alkaloid ได้แก่ Tilacorine, Ttiacorinine, Nortiliacorinine A, Ttiliacotinine 2 - N - Oxide, และtiliandrine, tetraandrine, D-isochondrodendrine (isoberberine) (Singthong, Ningsanond and Cui, 2009) (Sureram et al., 2012)

2.9.3 คุณค่าทางโภชนาการของย่านาง

ข้อมูลจากหนังสือ Thai Food Composition, Institute of Nutrition, Mahidol University (สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล) พบว่าปริมาณสารสำคัญที่มีมากและโดดเด่นในใบย่านาง คือ ไฟเบอร์ แคลเซียม เหล็ก เบต้าแคโรทีน วิตามินเอ ใบย่านาง 100 กรัม ให้คุณค่าทางโภชนาการ ดังนี้

พลังงาน 95 กิโลแคลอรี

เส้นใย 7.9 กรัม

แคลเซียม 155 มิลลิกรัม

ฟอสฟอรัส 11 มิลลิกรัม

เหล็ก 7.0 มิลลิกรัม

วิตามินเอ 30625 UI

วิตามินบี1 0.03 มิลลิกรัม

วิตามินบี2 0.36 มิลลิกรัม

ไนอาซีน 1.40 มิลลิกรัม

วิตามินซี 141 มิลลิกรัม

หรือโปรตีนร้อยละ 15.5

ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.24

โพแทสเซียมร้อยละ 1.29

แคลเซียมร้อยละ 1.42

ADFร้อยละ 33.7

NDFร้อยละ 46.8

DMDร้อยละ 62.0

แทนนินร้อยละ 0.21

2.9.4 ส่วนที่ใช้

ใบ รสจืดขม รับประทานถอนพิษผิดสำแดง แก้ไข้ ตัวร้อน แก้ไข้รากสาด ไข้พิษ ไข้เซื่องซึม ไข้หัว ไข้กลับซ้ำ ไข้เข้ายาเขียว ทำยาพอกลิ้นกระด้าง คางแข็ง กวาดคอ แก้ไข้ฝีดาษ ไข้ดำแดงเถา

ราก รสจืดขม กระทุ้งพิษไข้ แก้ไข้ ปรงยาแก้ไข้รากสาด ไข้กลับ ไข้พิษ ไข้สันนิบาต ไข้ป่าเรื้อรัง ไข้ทับระดู ไข้ผิดสำแดง ไข้เหนือ ไข้หัวจำพวกเหือดหัด สุกใส ฝีดาษ ไข้กาฬ รับประทานแก้พิษเมาเบื่อ แก้เมาสุรา แก้พิษภายในให้ตกลิ้น บำรุงหัวใจ บำรุงธาตุ

ทั้งต้น ปรงเป็นยาแก้ไข้กลับ

2.9.5 การใช้ยานางเป็นยาพื้นบ้านอีสาน

ใช้ราก ต้มเป็นยาแก้ไอสูทไอ ตุ่มผื่น

ใช้รากย่านางผสมรากหมदन้อย ต้มแก้ไข้มาลาเลีย

ใช้ราก ต้มขับพิษต่างๆ

(โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี)

พจนานุกรมพืชไทย ชีว

2.10 ไบยานางแดง



ภาพประกอบที่ 2.7 ลักษณะของใบและดอกของย่านางแดง

ชื่อสมุนไพร ย่านางแดง

ชื่ออื่นๆ สยาน (ตาก ลำปาง) หญ้านางแดง (ตะวันออกเฉียงเหนือ) เครือขยัน (เหนือ)

เถาขยัน

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Bauhinia strychnifolia* Craib.

ชื่อวงศ์ Leguminosae (Fabaceae)-Caesalpinioideae

2.10.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ไม้เถาเนื้อแข็ง พาดพันไปตามต้นไม้อื่น ยาวได้ถึง 5 เมตร เถาขนาดกลางๆมักแบนมีร่องตรงกลาง สีออกเทาน้ำตาล เถาแก่กลม สีน้ำตาลแดง มีมือพันสำหรับยึดเกาะ ออกเป็นคู่ ปลายม้วนงอ ใบดกหนาทึบ ใบเดี่ยว เรียงสลับ รูปไข่แกมขอบขนาน กว้าง 3-7 เซนติเมตร ยาว 6-12 เซนติเมตร ผิวใบมัน สีเขียวเข้ม ปลายใบเว้าตื้น กิ่งเรียวแหลมถึงมีติ่งหนาม โคนใบกลมถึงรูปหัวใจตื้น ขอบใบเรียบ ผิวเกลี้ยงทั้งสองด้าน เส้นแขนงใบ 3-5 เส้น ปลายเส้นใบโค้งจรดกัน ก้านใบยาว 2-3.5 เซนติเมตร หูใบรูปเดี่ยว ร่วงง่าย ดอกช่อกระจุก ออกที่ปลายกิ่ง รูปทรงกระบอกแคบ โค้งเล็กน้อย ปลายบานห้อยลง ยาว 15-100 เซนติเมตร ดอกย่อยจำนวนมาก กลีบดอกสีแดงสด มี 5 กลีบ รูปไข่กลับ ยาว 1.2-1.5 เซนติเมตร มีขนสีขาวปกคลุม ปลายกลีบดอกแหลมมน ฐานรองดอกรูปประฆัง เกสรเพศผู้ 3 อัน ก้านเกสรสีแดง ยื่นพ้นกลีบดอก เกสรเพศผู้เป็นหมัน 7 อัน ยาวไม่เท่ากัน รังไข่ยาวประมาณ 0.7 เซนติเมตร มีขนสั้นปกคลุม ก้านสั้น ก้านเกสรเพศเมียยาวประมาณ 0.7 เซนติเมตร ยอดเกสรเพศเมียไม่ชัดเจนใบประดับรูปลิ้น ติดทน ยาวประมาณ 1 เซนติเมตร กลีบเลี้ยงสีแดง 5 กลีบ รูปถ้วย ยาว

0.5-1 เซนติเมตร มีขนสั้นปกคลุม สีชมพูอ่อนหรือสีแดง ปลายแยกเป็น 5 แฉก ผลเป็นฝักแบน รูปขอบขนาน ปลายแหลม โคนฝักเป็นรูปหอก สีเขียวอ่อน เปลือกแข็ง เมื่อแก่แตกอ้า ยาว 15-16 เซนติเมตร เมล็ด 8-9 เมล็ด รูปขอบขนาน ยาวประมาณ 1.7 เซนติเมตร พบตามป่าดิบเขา ป่าเบญจพรรณที่แห้งแล้ง และที่โล่งแจ้ง ออกดอกช่วงเดือน พฤษภาคม ถึงสิงหาคม ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด (ฐานข้อมูลเภสัช มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี)

สารที่พบในเถาย่านางแดง จากการศึกษา พบว่าเถาย่านางแดงมีสารที่เป็นองค์ประกอบสำคัญมากมาย เช่น สารกลุ่ม polyphenol ได้แก่ triterpenes, flavonoids, saponins และ tannins (Phadungkit, 2012) หรือ กลุ่มสาร alkaloids โดยเฉพาะสาร bisbenzylisoquinoline alkaloids เช่น tiliacorinine, tiliacorine และ nortiliacorinine เป็นต้น นอกจากนี้ สามารถพบ สาร polysaccharides, beta-carotene, ธาตุเหล็ก และ แคลเซียม (Boonsong, 2009), (Saiin, 2003), (Singthong, Ningsanond and Cui, 2009)

2.10.2 ประโยชน์ของย่านางแดง

1. ยอดอ่อน ใบอ่อน ใช้รับประทานเป็นผักสดร่วมกับน้ำพริกและลาบได้
2. นอกจากจะใช้เป็นยาสมุนไพรแล้ว ยังใช้ปลูกเป็นไม้ประดับไว้เป็นไม้ประดับรั้วหรือปลูกไว้เป็นซุ่มหน้า

บ้านได้อีกด้วย เนื่องจากมีใบที่เขียวสดและมีช่อดอกที่โดดเด่นสวยงาม

2.10.3 สรรพคุณของย่านางแดง

1. เถาย่านางแดง มีสรรพคุณช่วยบำรุงธาตุในร่างกาย (เถา)
2. ช่วยบำรุงหัวใจ แก้โรคหัวใจวม (เถา)
3. ช่วยดับพิษร้อนภายในร่างกาย (เถา) ช่วยแก้อาการท้องผูกไม่ถ่าย ด้วยการใช้ฝนกับน้ำหรือน้ำซาวข้าว หรือนำมาต้มกับน้ำดื่ม (เถา, ราก, ใบ)
4. รากหรือเหง้าใช้เป็นยาแก้ไข้ ใช้กระทุ้งพิษไข้ ถอนพิษไข้และแก้ไข้ทั้งปวง โดยใช้เหง้านำมาฝนกับน้ำ หรือน้ำซาวข้าว หรือจะต้มกับน้ำใช้ดื่มเป็นยาก็ได้ (ราก, เหง้า) ส่วนเถาใช้เป็นแก้ไข้พิษแก้ไข้หนักไม่ ไข้กาฬ ไข้หัว ไข้สุกใส ไข้เซื่องซึม ไข้ป่าเรื้อรัง ไข้ทับระดู และไข้กลับไข้ซ้ำ (เถา)
5. ใช้เป็นยาแก้พิษทั้งปวง แก้พิษเบื่อเมา พิษเบื่อเมาของเห็ด ถอนพิษยาเมา แก้เมาสุรา แก้ยาเบื่อ ยาสั่ง ถอนพิษผิดสำแดง โดยใช้เหง้านำมาฝนกับน้ำหรือน้ำซาวข้าว หรือจะต้มกับน้ำใช้ดื่มเป็นยาก็ได้ (เถา, ราก, เหง้า, ใบ)
6. ช่วยล้างสารพิษหรือสารตกค้างจากยาฆ่าแมลงในร่างกาย หรือเกิดอาการแพ้ต่าง ๆ ด้วยการใช้ใบหรือ เถานำมาต้มดื่มเป็นประจำหรือใช้กินแทนน้ำ ก็จะช่วยลดอาการดังกล่าวได้ (ใบ, เถา)

7. ช่วยล้างสารพิษจากยาเสพติด ซึ่งหมอปั้นบ้านบางแห่งได้นำรากหรือเถามาฝนให้ผู้ป่วยที่กำลังเลิกยา เสพติดติ่ม เพื่อช่วยล้างพิษของยาเสพติดในร่างกาย (เถา, ราก)

8. ช่วยขับพิษโลหิตและน้ำเหลือง (เถา, ราก, ใบ)

9. ลำต้นหรือราก ใช้เข้าเป็นยาบำรุงโลหิตสำหรับสตรีหลังการคลอดบุตรขณะอยู่ไฟ จะช่วยให้มดลูกเข้าอู่เร็วขึ้น (ลำต้น, ราก)

10. มีข้อมูลระบุว่าสมุนไพรย่านางแดง สามารถนำมาใช้เป็นยาฆ่าเชื้อราได้ (ใบย่านางแดงแคปซูล)

11. ย่านางแดง มีสรรพคุณเหมือนกับย่านางเขียว หรือย่านางขาวทุกประการ แต่จะมีฤทธิ์ที่แรงกว่าและ ตึกว่า (โดยส่วนใหญ่สมุนไพรที่มีสีเข้มกว่าจะมีสารสำคัญที่มีคุณภาพมากกว่า)

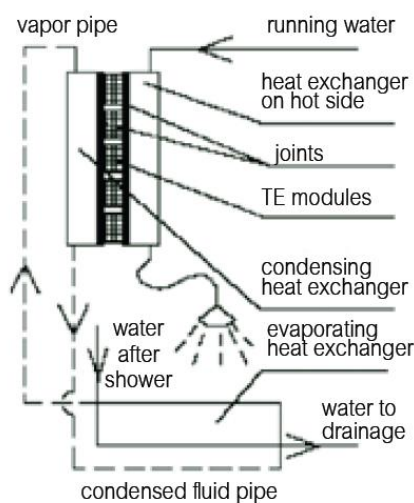
ยาพื้นบ้านอุบลราชธานี ใช้ ราก แก้วไข แก้วพิษเบื่อเมา

ยาพื้นบ้านอีสาน ใช้ ลำต้น หรือราก เข้ายาบำรุงโลหิต สำหรับสตรีหลังคลอด ขณะอยู่ไฟ ช่วยให้มีมดลูกเข้าอู่เร็วขึ้น

ตำรายาไทย ใช้ ใบ เถา และราก ใช้แก้พิษ ถอนพิษยาเมา ยาเบื่อ ยาสิ่ง ถอนพิษผิดสำแดง ถอนพิษและแก้พิษทั้งปวง ขับพิษโลหิตและน้ำเหลือง แก้ท้องผูกไม่ถ่าย ใช้ฝนกับน้ำ หรือน้ำขาวข้าว หรือต้มน้ำดื่ม สรรพคุณเหมือนย่านางขาวทุกประการ แต่มีฤทธิ์แรงกว่า (ฐานข้อมูลเภสัช มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ม.ป.ป.)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากอดีตจนถึงปัจจุบันมีผู้สนใจศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องอบแห้งแบบต่างๆมากมาย ตัวอย่างเช่น (Vega-Gálvez et al., 2012) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และความเร็วลม ที่มีผลต่อจนวนพลศาสตร์การอบแห้ง, ปริมาณสารแอนติออกซิแดนซ์, ปริมาณทั้งหมดของสารฟีนอลิก, สี, เนื้อสัมผัส และโครงสร้างภายในของแอปเปิ้ลแห้ง โดยใช้เครื่องอบลมร้อนที่ Vega-Galvez และคณะ ได้ออกแบบและสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 2009 โดยอุณหภูมิที่ทำการทดลองคือ 40, 60 และ 80 °C ความเร็วลม 0.5, 1.0 และ 1.5 เมตรต่อวินาที พบว่าสารแอนติออกซิแดนซ์สูงที่สุดที่อุณหภูมิ 40 °C และความเร็วลม 0.5 เมตรต่อวินาที ในส่วนของการใช้งานด้านร้อนเอร์โมอิเล็กทรอนิกส์นั้น (Luo et al., 2005) ได้ศึกษาการใช้เอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ช่วยทำน้ำอุ่น พบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่า 38 % เมื่อเทียบกับแบบเดิมคือการใช้เพียงไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว



ภาพประกอบที่ 2.8 เครื่องทำน้ำอุ่นเทอร์โมอิเล็กทริก
(Luo et al., 2005)

นอกจากนั้นยังมีการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้ในการอบแห้ง คือ (Junior, Chen and Koehler, 2012) ได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองวงจรใหม่แบบเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการอบแห้งแบบลูกกลิ้ง ระบบเดิมจะเป็นระบบแบบ Heat pump ซึ่งจะได้รับความร้อนจาก Condenser และลดความชื้นที่ Evaporator ข้อเสียของระบบนี้คือใช้สารทำความเย็นที่เป็นทำให้โลกร้อน ระบบทำงานเสียงดัง C. Junior. และคณะได้ทำการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้แทนระบบ Heat pump โดยอาศัยความร้อนจากด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกในการอบแห้ง ข้อดีคือ ระบบทำงานเงียบ ไม่ใช้สารทำความเย็นที่เป็นที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม อายุการใช้งานยาวนาน ในการทดลองการสร้างแบบจำลองนี้ ได้ทำการทดสอบเทียบกับระบบ Heat pump 3 ครั้ง โดยการเพิ่มมวลของเสื้อผ้าที่ใช้ในการอบแห้ง อัตราการอบแห้ง ผลที่ได้จากการทดลองคือเทียบที่ค่า Specific energy consumption (SEC) พลังงานที่ใช้ต่อหน่วยการผลิต เมื่อเทียบกับระบบ Heat pump จะเห็นได้ว่าทดลองสามครั้ง ค่า SEC ของระบบเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าสูงกว่าทั้งสามค่าที่ทดลอง แสดงว่าการนำเอาเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งสามารถนำมาใช้งานได้จริง แต่ค่าพลังงานที่ให้จะสูงกว่าระบบ Heat pump ก็ถือได้ว่าในอนาคตเทอร์โมอิเล็กทริกจะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในระบอบอบแห้งให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงมากขึ้นและเป็นพลังงานที่สะอาด

Liu, Zhao and Tang (2008) ได้นำเอาเทอร์โมอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้ในเครื่องอบผ้าแบบ Closed-Type Thermoelectric โดยออกแบบให้มีอากาศหมุนเวียนเพื่อนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่ และทำการศึกษแบบจำลองคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อนในมิติของความร้อนและ

กำลังไฟฟ้า ทั้งการผลิตความร้อนและความเย็นมีความสัมพันธ์กันในเทอมของความต้านทานไฟฟ้า, การนำความร้อน และกระแสไฟฟ้า การทดลองนี้พยายามควบคุมอุณหภูมิอบแห้ง กำลังไฟฟ้าในขณะเริ่มต้น และน้ำหนักของผ้าเปียก โดยวัดผลจากอัตราการแห้งและอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ(SMER) พบว่าอัตราการ อัตราการทำให้แห้งเพิ่มขึ้นในช่วงแรก และลดลงเมื่อเวลาผ่านไป อัตราการระเหยน้ำจำเพาะอยู่ในช่วง 1.5-3.8 kg/kWh และยิ่งพบอีกว่า สมรรถนะของเทอร์โมอิเล็กทริกขึ้นอยู่กับค่าปัจจัยต่างๆที่ทำการทดลองเป็นอย่างมาก

ปรีดา ไชยรงค์ศรี (2556) ได้มีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งใบย่านางด้วยเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกโดยทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ที่ความเร็วลม 0.2 เมตรต่อวินาที ปริมาณอากาศไหลกลับร้อยละ 100 และอุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส ถือเป็นสภาวะการอบแห้งที่ดีที่สุด โดยที่สภาวะดังกล่าวจะให้ใบย่านางอบแห้งที่มีลักษณะสีใกล้เคียงกับใบย่านางตากแดด และเครื่องอบแห้งจะมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและสัมประสิทธิ์สมรรถนะเท่ากับ 13.8 กิโลวัตต์ - ชั่วโมงต่อกิโลกรัมน้ำระเหยและ 1.53 ตามลำดับ

(นักสิทธิ์ ปัญญาใหญ่, สุทธิดา คำเหมื่อง และ วิภาวรรณ ไชยเทพ, 2554) ได้เปรียบเทียบการทำแห้งด้วยวิธีตากแดด การอบแห้งโดยให้วัสดุสัมผัสกับแสงอาทิตย์โดยตรง และการอบแห้งโดยไม่ให้วัสดุสัมผัสกับแสงอาทิตย์โดยตรง ที่มีผลต่อคุณภาพของการทำแห้งสมุนไพร 3 ชนิด คือ มะรุม ใบรางจืด ซึ่งทำการทดลองเวลา 9.00-16.00 น.ในเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน พ.ศ. 2553 ช่วงเวลาดังกล่าวให้ปริมาณแสงอาทิตย์ 257-720 w/m² มีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 25-30% และมีอุณหภูมิ 30-50 องศาเซลเซียส โดยสมุนไพรที่ผ่านการทำให้แห้งแบบต่างๆที่กล่าวมาจะทำการวัดคุณภาพด้าน ความชื้น สี ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ พบว่าในใบรางจืดการทำแห้งทุกรูปแบบให้ผลไม่แตกต่างกัน ในใบมะรุมที่ผ่านการตากแดดและการอบแห้งโดยไม่ให้วัสดุสัมผัสกับแสงอาทิตย์โดยตรงมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากกว่าวิธีการอบแห้งโดยไม่ให้วัสดุสัมผัสกับแสงอาทิตย์โดยตรง ใบเตยเหมาะกับทั้งการอบแห้งโดยไม่ให้วัสดุสัมผัสกับแสงอาทิตย์โดยตรงและไม่สัมผัสกับแสงอาทิตย์โดยตรง

สุวรรณ ภูริระวิชย์กุล และคณะ (2556) ได้ศึกษาแนวทางการอบแห้งใบเตยและตะไคร้เพื่อทำสมุนไพรแห้งขงต้ม โดยนำใบเตยมาอบแห้งด้วยลมร้อน ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียสและอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ส่วนตะไคร้ นำมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส และอบแห้งด้วยอินฟาเรดที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส กำลังไฟ 1,000 วัตต์ พบว่าเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น ระยะเวลาการอบแห้งจะสั้นลง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีแนวโน้มลดลง

สุวรรณ ภูริระวิชย์กุล และคณะ (2556) ศึกษาคุณภาพของขนุนที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ คือ อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดอย่างเดียว อบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วม (อินฟราเรดร่วมกับลมร้อน) อบแห้งแบบ 2 ชั้นตอน (อบด้วยไมโครเวฟก่อนแล้วจึงไปอบต่อด้วยลมร้อน) และ อบแห้งแบบใช้ลมร้อนอย่างเดียว ในช่วงอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส พบว่าการอบแห้งด้วยอินฟราเรดอย่างเดียวมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าแบบอื่นๆ และการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีเหลืองและค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีแดงและการหดตัวของขนุนมีค่าลดลง

(Kaya and Aydin, 2009) อบแห้งใบตำแยฝรั่งและใบมัน โดยใช้อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.2 0.4 และ 0.6 เมตรต่อวินาที ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40 50 และ 70 ใบตำแยฝรั่งและใบมันมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 76.6 และ 85 มาตรฐานเปียกตามลำดับ เปิดให้เครื่องทำงาน 1 ชั่วโมงจึงจะมีอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ตามที่ต้องการและแต่ละสภาวะทำซ้ำ 3 ครั้ง เมื่อเปรียบเทียบการอบแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วลมที่แตกต่างกัน พบว่าอุณหภูมิมิผลต่อการอบแห้งมากกว่าความเร็วลมอย่างมาก เมื่อความเร็วลมหรืออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะลดเวลาในการอบแห้งลง และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (effective diffusion) ของใบตำแย คือ $1.744 \times 10^{-9} - 4.992 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ใบมัน คือ $1.9765 \times 10^{-9} - 6.172 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$

Chan et al. (2009) ศึกษาสมบัติของสารต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพรรวม 3 ชนิด คือ ดาหลา หม่อน และ รางจืด โดยผ่านการทำแห้งด้วย ไมโครเวฟ ตู้อบลมร้อน และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ต่างๆ คือ phenolic content, ascorbic acid equivalent antioxidant capacity, ferric reducing power และ chelating efficiency concentration พบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งทั้ง 3 ชนิด สามารถรักษาสารต้านอนุมูลอิสระของสมุนไพรรวมทั้ง 3 ชนิดได้ สมุนไพรรวมทั้ง 3 ชนิดนี้จึงมีศักยภาพที่จะพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหรือยาเพื่อสุขภาพได้

Tasirin et al. (2014) ได้ศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งใบมะกรูดด้วยการอบแห้งแบบฟลูอิดไดเบตที่ความเร็วลม 0.6 0.7 และ 0.8 m/s โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราการทำแห้งจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนใบมะกรูดต่อทรายมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (effective diffusion) เพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นโดยมีค่าระหว่าง $2.61 \times 10^{-11} - 9.24 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนประกอบของน้ำมันหอมระเหย วิตามินซี และวิตามินเอ ของการอบแห้งแบบฟลูอิดไดเบตกับการตากแห้งและการอบด้วยตู้อบลมร้อน ไม่พบความแตกต่างโดยมีนัยสำคัญ

Rayaguree and Routray (2010) ศึกษาการอบแห้งเตยหอมแบบชั้นบาง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 27 และ ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ

ละ 60 ความเร็วลม $1 \pm 0.1 \text{ m/s}$ โดยใช้เครื่องอบลมร้อน (IIC, Model TD-12) เปิดให้เครื่องทำงาน 30 นาที จึงจะเข้าสู่สภาวะคงที่ที่ต้องการ ในช่วงแรกนำออกมาชั่งน้ำหนักทุก 15 นาที หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักทุก 30 นาที พบว่าการอบที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้ง 900 นาที และการอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้ง 540 นาที โดยลดความชื้นเดยหอมจากร้อยละ 382.28 มาตรฐานแห้ง เหลือ ร้อยละ 5 มาตรฐานแห้ง สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (effective diffusion) มีค่า $1.3 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 27 และมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (effective diffusion) $2.1 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 และ พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำจะรักษาสารหอมระเหย (2-acetyl-1-pyrroline) ได้ดีกว่า

(Hossain et al., 2010) ศึกษาผลการทำแห้งด้วย การตากแห้ง การแช่เยือกแข็ง และ ตู้อบสูญญากาศที่มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารฟีนอลรวม และปริมาณกรดโรสมารินิกของพืชในวงศ์กระเพรา 6 ชนิด คือ โรสแมรี่ ออริกาโน่ มาร์จอรัม เซจ ไบโหระพาฝรั่ง ໓໓໓ โดยแบ่งเป็น 5 ส่วน ส่วนที่ 1 นำไปหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในใบสดทันที ส่วนที่ 2 นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ฟีนอลรวม และกรดโรสมารินิก ทุกๆ 15 วัน จนครบ 60 วัน ส่วนที่ 3 นำไปตากในที่ร่ม อากาศถ่ายเทได้สะดวก มีอุณหภูมิเฉลี่ย 14 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 10 เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ส่วนที่ 4 อบโดยตู้อบสูญญากาศอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ความดัน 6 mbar ส่วนสุดท้าย ส่วนที่ 5 ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง อุณหภูมิ -54 องศาเซลเซียส ความดัน 0.064 mbar เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ส่วนที่ 3-4 เมื่อผ่านการทำแห้งแล้วนำไปหาสารต้านอนุมูลอิสระต่างๆทันที เช่นเดียวกับส่วนที่ 1 และ 2 ส่วนที่เหลือนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และนำมาวิเคราะห์หาสารดังกล่าวข้างต้นทุกๆ 15 วัน จนครบ 60 วัน พบว่าการทำแห้งแบบตากแห้งเป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับทุกตัวอย่าง

(Iguar et al., 2012) ศึกษาการอบแห้งแอบฟริกอตด้วยวิธีอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส ทำแห้งโดยใช้ไมโครเวฟขนาด 100 W และอบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ และใช้แอบฟริกอตในสเปนที่มีความสุก ขนาด สี และความแน่นเนื้อใกล้เคียงกัน เก็บในวันเดียวกัน ทำการคัดแยกลูกที่สุกเกินไปและลูกที่เข้าออก และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส จนกระทั่งทำการทดลอง โดยใช้แอบฟริกอตครั้งละ 120-150 กรัม เก็บน้ำหนักทุกๆ 5 นาที จนแห้ง พบว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้อย่างมีนัยสำคัญ มีปริมาณสารฟีนอลิกสูง และรักษาสารต้านอนุมูลอิสระไว้ได้

Vega-Gálvez et al. (2012) ศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วลมที่มีผลต่อจนวนพลศาสตร์ การอบแห้ง และคุณภาพของแอปเปิ้ลสไลด์อบแห้งพันธุ์ Granny Smith โดยนำแอปเปิ้ลพันธุ์ Granny Smith มาทำความสะอาด ปอกเปลือกและเอาเมล็ดออก หั่นเป็นชิ้นหนาขนาด 5.0 ± 0.2 mm อบด้วยเครื่องอบสูญญากาศ (Gallenkamp, OVL570, Leicester, UK) ที่อุณหภูมิ 40 60 และ 80 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 0.5 1.0 และ 1.5 เมตรต่อวินาที พบว่า การอบแห้งจะเร็วขึ้นเมื่อ ความเร็วลมและอุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้น แต่สมบัติด้านอื่นๆ เช่น สี DPPH จะลดลงและค่า สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (effective diffusion) จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและความเร็วลม โดยมี ค่าสูงสุดอยู่ที่ $15.30 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$

Chan et al. (2009) ได้ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติและปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของใบ และชาของพืชตระกูลชิง (ชำคม กาหลา ขมิ้นชัน และหอมเปราะ) เมื่อผ่านการอบด้วยวิธีต่างๆ คือ อบแห้งด้วยไมโครเวฟขนาด 800 W เป็นเวลา 4 min อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง การตากแดดในโรงเรือนอุณหภูมิเที่ยงวัน เป็นเวลา 3 วัน การผึ่งลมในห้องทดลองอุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 33 เป็นเวลา 3 วัน และ การอบแห้งแช่เยือกแข็งที่ความดัน 0.125 มิลลิบาร์ อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส พบว่าการทำแห้งแบบ แช่เยือกแข็ง เหมาะที่จะใช้ในการผลิตชาและผลิตภัณฑ์อื่นๆ จากพืชตระกูลชิง

Sevik (2014) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งโดยการออกแบบเครื่อง Solar heat pump dryer ในนำมาทดสอบอบ มะเขือเทศ สตอเบอร์รี่ มัน ผักชีฝรั่ง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ(COP) ของเครื่องในการอบแห้งพืชชนิดต่างๆ มีค่า 1.96 2.27 2.28 และ 2.17 ตามลำดับ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) อยู่ระหว่าง 0.03 kg/kWh – 0.46 kg/kWh และ ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพ มีค่าระหว่าง 0.19 – 0.48

Park, Vohnikova and Brod (2002) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งใบมินที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.5 และ 1.0 เมตรต่อวินาที พบว่าแบบจำลองที่ใช้อธิบายการคายน้ำของมินได้ดีคือ BET GAB Oswin และpeleg ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (effective diffusion) มีค่าระหว่าง 4.765×10^{-13} - 2.945×10^{-12} ตารางเมตรต่อวินาที และ แบบจำลอง การอบแห้งของPage ดีที่สุดสำหรับข้อมูลที่ทำกรทดลองที่สภาวะอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และ ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที

Fatouh et al. (2006) ได้ทำการศึกษาระบบ heat Pump ที่ใช้สารทำความเย็น R134a เพื่อเพิ่มผลผลิตในการอบแห้งและลดการใช้พลังงานในการอบแห้งพืช 3 ชนิด คือ ปอกกระเจา สาระแหน่ ผักชีฝรั่ง เพื่อดูผลของปริมาณของพืชในการอบแต่ละครั้ง ความเร็วลมในการอบ อุณหภูมิ ในการอบ ขนาดของพืชที่ใช้อบ และ การมีก้านของพืช ในการทดลองมี 2 ระบบ คือ การอบด้วยลม ร้อนประกอบด้วยท่อลมและห้องอบแห้งบุด้วยฉนวนใยแก้วขนาด 25 มิลลิเมตร และ ระบบที่ใช้สาร

ทำความเข้าใจ โดยรักษาอุณหภูมิของท่อทำความเย็นด้วยฉนวนที่ทำจากยางชนิดพิเศษ ขณะทำการทดลองเก็บผลน้ำหนักรวสดุและอุณหภูมิอากาศที่อบ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้า ที่ป้อนให้ระบบทุก 10 นาที จนอบแห้งเสร็จ โดยหาความชื้นที่เริ่มต้นของใบมันด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส โดยทำการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 50 และ 55 องศาเซลเซียส ปริมาณพืชในการอบแต่ละครั้ง 3.5 7 14 21 และ 28 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ความเร็วลม 1.2 ถึง 2.7 เมตรต่อวินาที ทั้งแบบมีก้านและ ไม่มีก้าน อบแห้งจนเหลือความสูญหาย 6 % wb. พบว่าปริมาณ 3.5 และ 7 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ไม่เหมาะสมในการอบ เพราะมีปริมาณความชื้นน้อยเกินไป อัตราการทำแห้งจะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบลดลง อัตราการทำแห้งจะลดลงเมื่อความเร็วลมในการอบแห้งลดลง การอบแห้งขนาดพืชที่เล็กเร็วกว่าการอบแห้งพืชที่มีขนาดใหญ่ และเหลือความชื้นสุดท้ายน้อยกว่าพืชที่มีขนาดใหญ่ ระยะเวลาการอบแห้งและอัตราการทำแห้งพืชที่มีก้านสูงกว่าพืชที่ไม่มีก้าน ชนิดและลักษณะทางกายภาพของพืชมีผลต่อเวลาของการอบแห้ง ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการผลิตสูงสุดที่ 28 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ความเร็วลม 2.7 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ(SEC) ผักชีฝรั่งน้อยที่สุดรองลงมาเป็นสระแหน่และปอกระเจาตามลำดับ

Orikasa et al. (2014) ศึกษาและเปรียบเทียบการทำแห้งกวีฝานบางด้วยวิธีอบความร้อนและทำแห้งด้วยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความดันสุญญากาศ 3 kPa ทดลองโดยซื้อกวีจากตลาดที่อยู่ในท้องถิ่นแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียสก่อนการทดลอง ความชื้นเริ่มต้น 4.91 ± 1.29 6 มาตรฐานแห้ง หั่นกวีให้มีความหนาประมาณ 10 มิลลิเมตร (20 กรัม) พบว่าการอบด้วยลมร้อนอธิบายได้ดีด้วยแบบจำลอง exponential กวีที่ผ่านการอบแห้งมีค่าสารละลายวิตามิน 0.75 - 0.88 และมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ 4.5 - 5.5 การทำแห้งด้วยสุญญากาศอธิบายได้ดีด้วยแบบจำลอง exponential และแบบจำลอง Page กวีที่ผ่านการอบแห้งด้วยสุญญากาศมีค่าสารละลายวิตามิน 0.9 - 0.99 มีสารต้านอนุมูลอิสระ 4.3 - 5.2 ทั้งสองวิธีมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีทั้งหมดคือ 12 และมีค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดงของการทำแห้งด้วยระบบสุญญากาศน้อยกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อน

Değirmencioğlu et al. (2016) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ในการอบแห้ง Tarhana (อาหารชนิดหนึ่ง) เสริมด้วยแป้งโอ๊ต 20 - 100 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบด้วยวิธีตากแดด อบด้วยตู้อบลมร้อน อบด้วยไมโครเวฟ พบว่าอบด้วยตู้อบลมร้อนที่ 55 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ

Samoticha, Wojdyto and Lech (2016) ได้ทำการศึกษาค้น ได้ทำการศึกษามลของการอบแห้งแบบต่างๆที่ ได้ทำการศึกษามลของการอบแห้งแบบต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของโกจิเบอร์รี่อบแห้ง (สารประกอบฟีนอล สารต้านอนุมูลอิสระและสี) ด้วยการอบแห้ง 5 วิธี คือ 1. อบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่ ความดัน 0.96 10 กิโลปาสคาล อุณหภูมิ - 60 องศาเซลเซียส เก็บรักษาในตู้แช่แข็ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2.อบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 100 กิโลปาสคาล 24 ชั่วโมง 3. อบแห้งแบบการพาความร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.2 เมตรต่อวินาที 4.อบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟใช้พลังงาน 240 360 และ 480 วัตต์ ความดัน 4 และ 6 กิโลปาสคาล 5.อบแห้งแบบการพาความร้อนร่วมกับศูนย์อากาศร่วมกับไมโครเวฟ โดยเริ่มอบด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ถึง 6 ชั่วโมงขึ้นอยู่กับความชื้นของวัสดุและอบต่อด้วยศูนย์อากาศร่วมกับไมโครเวฟ พบว่าการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งรักษาปริมาณ Bioactive compound และต้านอนุมูลอิสระได้ดีที่สุดในขณะที่ใช้เวลาที่เท่ากันการอบแห้งแบบการพาความร้อนร่วมกับศูนย์อากาศร่วมกับไมโครเวฟ ประหยัดกว่า

Santacatalina et al. (2016) ศึกษาผลของระดับคลื่นอัลตราโซนิคในระหว่างการอบแห้งแอปเปิ้ลที่อุณหภูมิต่ำโดยศึกษาด้านการถ่ายเทมวลและคุณภาพ โดยใช้อุณหภูมิในการทดลอง -10 และ 10 องศาเซลเซียสแล้วใช้คลื่นอัลตราโซนิคในเวลาสั้นๆ และใช้แอปเปิ้ลที่ซื้อในตลาดสดในสเปน โดยเลือกขนาดสีความสุขให้เหมือนกันแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส จนทดลองตัวอย่างทดลองรูปลูกบาศก์ยาวด้านละ 8.8 มิลลิเมตร พบว่าคลื่นอัลตราโซนิคมีผลกับจนวนพลศาสตร์การอบแห้งที่ -10 องศาเซลเซียสมากกว่า 10 องศาเซลเซียส

Lertsatitthanakorn, Wiset and Atthajariyakul (2009) ศึกษาสมรรถนะการทำความเย็นของระบบฝ้าเพดานทำความเย็นด้วยเรอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ และความสบายเชิงอุณหภูมิ ประกอบด้วยเรอร์โมอิเล็กทรอนิกส์จำนวน 36 โมดูล ด้านร้อนติดกับแผ่นทองแดงโดยใช้น้ำช่วยในการระบายความร้อน ด้านเย็นของเรอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ติดตั้งกับฝ้าเพดานอะลูมิเนียม ในห้องทดสอบที่มีปริมาตร 4.5 m^3 ในการทดลองมีการปรับกระแสไฟฟ้า และอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น พบว่าสภาวะทำงานที่เหมาะสมที่สุด คือ การจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เรอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ 1A ได้อัตราการทำความเย็น 201.6 มีอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องทดสอบ 27 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.8 m/s และมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) 0.82

Luo et al. (2005) ทำการทดลองเพื่อศึกษาเครื่องทำน้ำอุ่นด้วยเรอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ heat pump การทดลองประกอบด้วย 3 กลุ่มตัวแปร คือ อัตราการไหลของน้ำ (5 L/min และ 3 L/min) อุณหภูมิของน้ำและพลังงานที่ป้อนให้กับระบบ ระบบประกอบด้วยเรอร์โมอิเล็กทรอนิกส์โมดูล เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ด้านร้อน Thermosiphon วงจรไฟฟ้า ฝักบัว ท่อ และอื่นๆ โดยใช้ acetone เป็นสารทำงาน พบว่าเครื่องทำน้ำร้อนที่ถูกพัฒนาด้วยวิธีการนำระบบเรอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ heat pump

มาใช้ร่วมกับการผลิตน้ำร้อนชนิดไหลเวียนตามธรรมชาติ มีประสิทธิภาพมากกว่าอุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยไฟฟ้ามากกว่า 1.6 เมื่อทำงานในสภาวะที่เหมาะสม และเครื่องต้นแบบนี้ยังสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่า 38% จึงเป็นที่น่าสนใจในการใช้สำหรับอาคารประหยัดพลังงาน ใช้ผลิตน้ำอุ่นในเรือเดินมหาสมุทร และใช้ในสิ่งเคลื่อนที่อื่นๆ

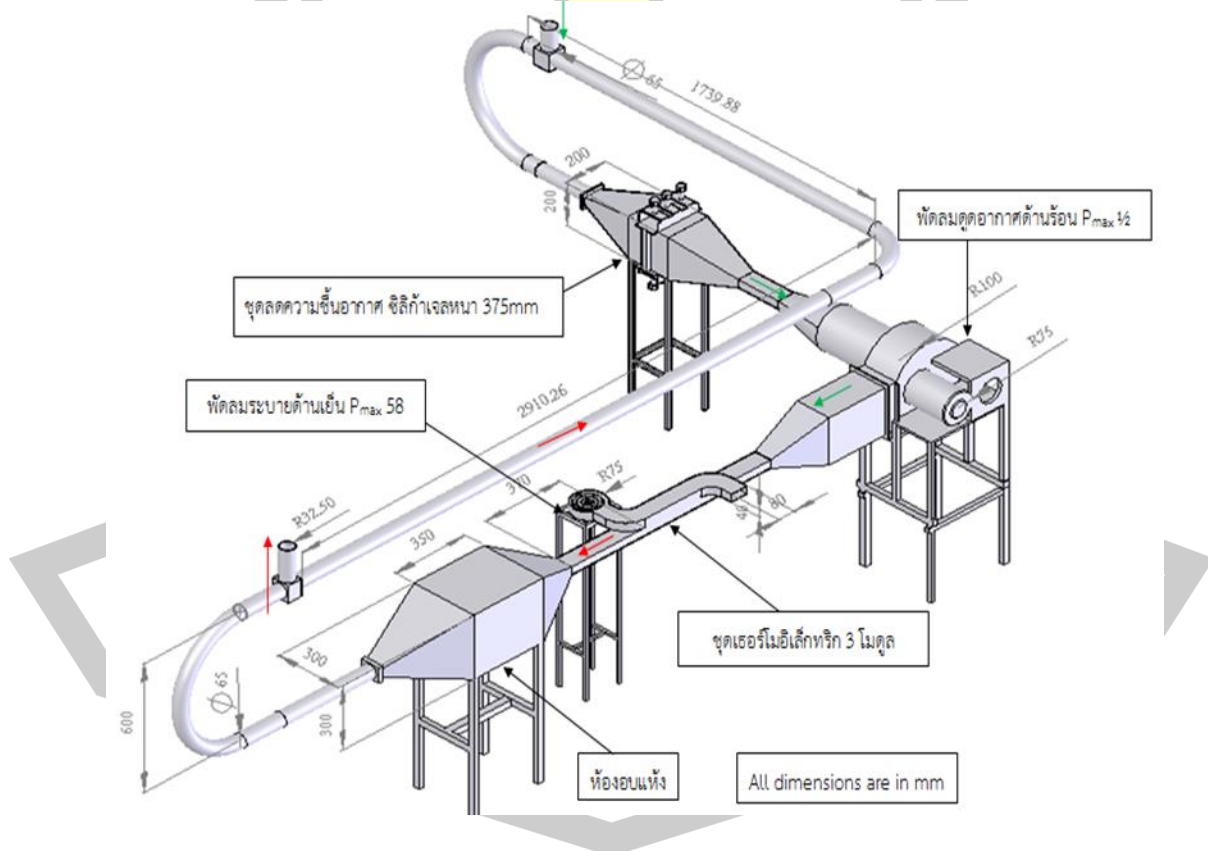
Jradi et al. (2011) ได้ศึกษาการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับโซล่าเซลล์เพื่อกลั่นน้ำร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับลดความชื้นของอากาศและผลิตน้ำบริสุทธิ์ โดยทำอากาศแวดล้อมให้ชื้นด้วยเครื่องกลั่นแสงอาทิตย์ และลดความชื้นของอากาศด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อแยกน้ำแบบควบแน่น และได้น้ำตามต้องการ โดยทำการเก็บข้อมูล 5 เดือน คือ เดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม พบว่าสามารถผลิตน้ำได้ 10 ลิตรต่อวัน ได้ปริมาณน้ำมากที่สุดในเดือนสิงหาคม และมีประสิทธิภาพมากที่สุด 1.52 ในเดือนตุลาคม

Cosnier, Fraisse and Luo (2008) ศึกษากระบวนการทำความเย็นและทำความร้อนในอาคารด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก การทดลองนี้ออกแบบให้ใช้เทอร์โมอิเล็กทริก 4 โมดูล แต่ละโมดูลมีขนาด 62 x 62 x 4.6 (CP2-127-06L) เนื่องจากเทอร์โมอิเล็กทริก CP series เป็นเทอร์โมอิเล็กทริกcooling ที่มีราคาถูกและออกแบบมาให้เหมาะสมกับอุณหภูมิสภาพแวดล้อมทั่วไป ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอลูมิเนียมวางสับหว่างกับแผ่นทองแดงหนา 0.6 mm 3 ชั้น ช่องเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละชั้นมีจำนวน 101 ช่อง แต่ละช่องมีขนาดลึก 0.7 mm กว้าง 10 mm ยาว 135 mm ผนังหนา 0.2 mm ช่วยในการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศและเทอร์โมอิเล็กทริก วางประกบด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกด้านละ 2 โมดูล โดยอัตราการไหลของอากาศผ่านช่องเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 100-200 L/min จากนั้นประกบด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ระบายความร้อนด้วยน้ำขนาด 124 mm x 62 mm x 15mm อัตราการไหลของน้ำ 20 L/min ในโหมดทำความเย็นมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ(COP) มีค่า 0.3-4.5 เมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิ 5 -30 องศาเซลเซียส ในโหมดทำความร้อนมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ(COP) มีค่า 0.7-4.5 เมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิ 10 -70 องศาเซลเซียส สำหรับความแตกต่างของอุณหภูมิที่เท่ากันเมื่อทำงานในโหมดทำความเย็นและทำความร้อน โหมดทำความร้อนจะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ(COP) ที่ดีกว่า อุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณมีความแตกต่างจากอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองต่ำกว่า 10 %

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาระบบอบแห้งด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งก่อนหน้านี้ ปรีดา ไชยรงค์ศรี (2556) ได้มีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งใบย่านางด้วยเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกโดยทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่าตัวเครื่องมีขนาดใหญ่ (ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.1) จึงส่งผลให้มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูง งานวิจัยนี้จึงทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อปรับปรุงให้มีการใช้พลังงานในการอบแห้งที่น้อยลง และศึกษาสมรรถนะและสภาวะที่เหมาะสมในการทำงานของระบบดังกล่าว นอกจากนี้ยังศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบด้วยระบบดังกล่าวที่สภาวะต่างๆด้วย ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้พืชสมุนไพร ใบพลูควาว ใบย่านาง และ ใบย่านางแดง เป็นวัสดุในการศึกษาครั้งนี้ ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้



ภาพประกอบที่ 3.1 เครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก
(ปรีดา ไชยรงค์ศรี, 2556)

3.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก

3.1.1. เทอร์โมอิเล็กทริก

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) ยี่ห้อ Tianjin lantian model TEC1-12710, China จำนวน 5 โมดูล โดยเทอร์โมอิเล็กทริกนี้ผลิตจากวัสดุกึ่งตัวนำ Bismuth telluride มีขนาด 40×40 ตารางมิลลิเมตร และมีความหนา 3.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.2 โดยแต่ละตัวต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟซึ่งแยกจากกัน (แหล่งจ่ายไฟ 1 ตัวต่อเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล เพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำขึ้นและสะดวกในการบำรุงรักษาเครื่องระหว่างทำการทดลอง) มีหน้าที่หลักในการเพิ่มความร้อนให้อากาศก่อนเข้าสู่ห้องอบ ค่าสมบัติที่สำคัญของเทอร์โมอิเล็กทริกยี่ห้อ Tianjin lantian model TEC1-12710, China แสดงใน ตารางที่ 3.1



ภาพประกอบที่ 3.2 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลยี่ห้อ Tianjin lantian model TEC1-12710, China

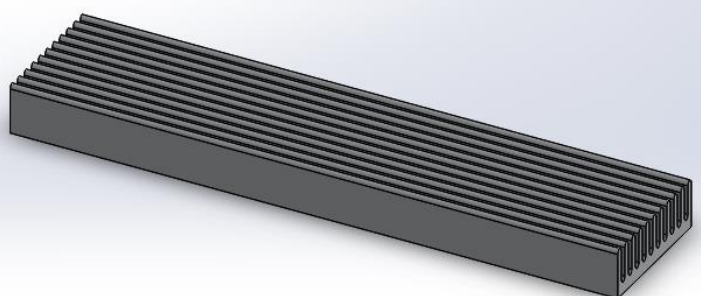
ตารางที่ 3.1 สมบัติที่สำคัญของเทอร์โมอิเล็กทริกยี่ห้อ Tianjin lantian model TEC1-12710 China

Specifications	Value
The Seebeck coefficient (α : VK^{-1})	0.0444
The electric resistance of the TE module (R : Ω)	2.545
The thermal conductivity of the TE module (K : WK^{-1})	0.495

(วิฑริช ทัพย์แสนพรหม, ม.ป.ป.)

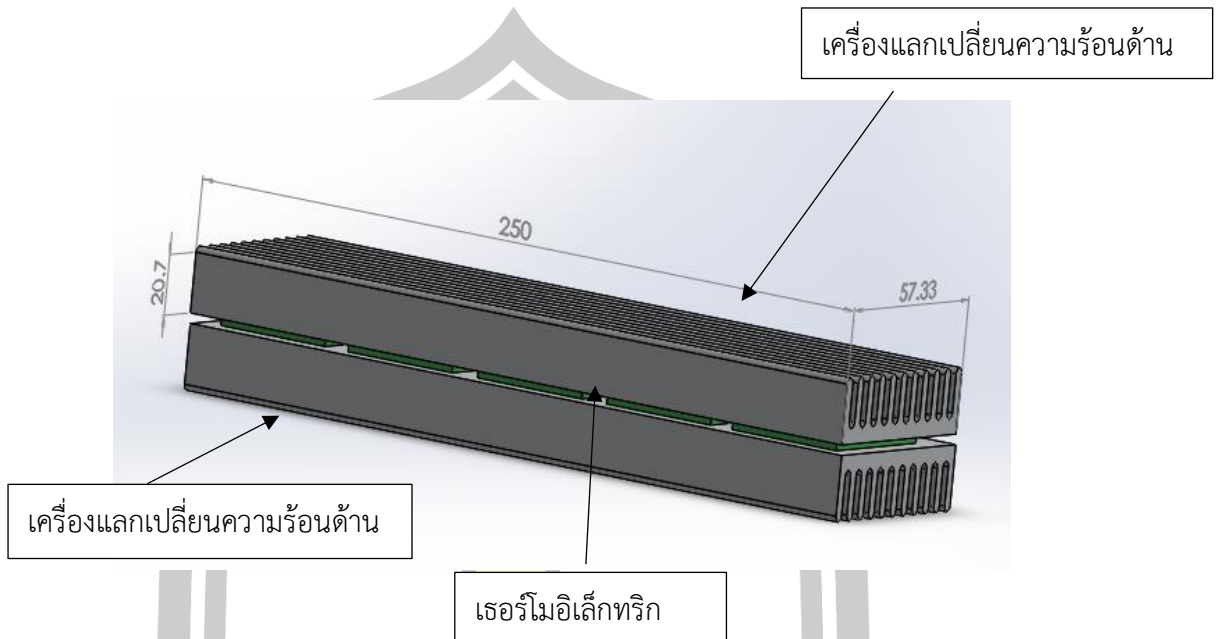
3.1.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและชุดให้ความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสี่เหลี่ยมพื้นผ้า ทำจากอะลูมิเนียมมีขนาด 5.7cm x 25.0cm x 2.0cm (กว้างxยาวxสูง) ครีบบีความหนา 0.27cm ระยะห่างระหว่างครีบบี 0.27cm จำนวน 11 ครีบบี (ภาพประกอบที่ 3.3 และภาพประกอบที่ 3.4) ภาพประกอบที่ 3.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสี่เหลี่ยมพื้นผ้า ใช้ในการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนและด้านเย็น โดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน



ภาพประกอบที่ 3.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสี่เหลี่ยมพื้นผ้า

ซึ่งด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนติดประกบในลักษณะแซนวิช ดังแสดงใน ภาพประกอบที่ 3.4 ในการติดตั้งใช้ซิลิโคนทาบริเวณระหว่างผิวสัมผัสของเทอร์โมอิเล็กทริกและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อลดช่องว่างของอากาศ (ฉนวน) ระหว่างวัสดุทั้งสอง และมีฉนวนป้องกันการถ่ายเทความร้อนระหว่างช่องว่างของแผงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองด้าน แล้วจึงหุ้มด้วยท่อลมอะลูมิเนียม



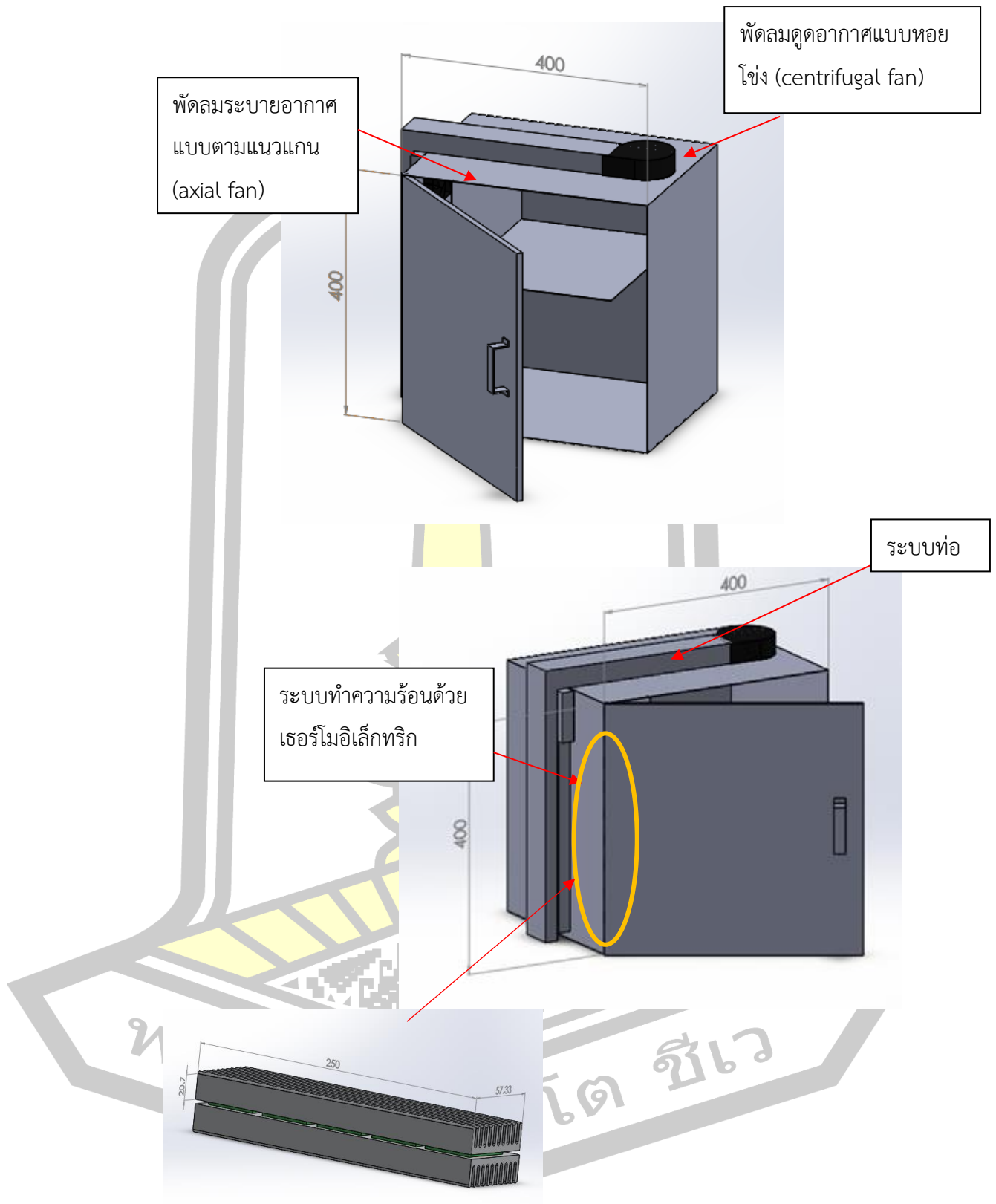
ภาพประกอบที่ 3.4 การติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกเข้ากับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้า

3.1.3 พัดลมดูดอากาศแบบหอยโข่ง (centrifugal fan)

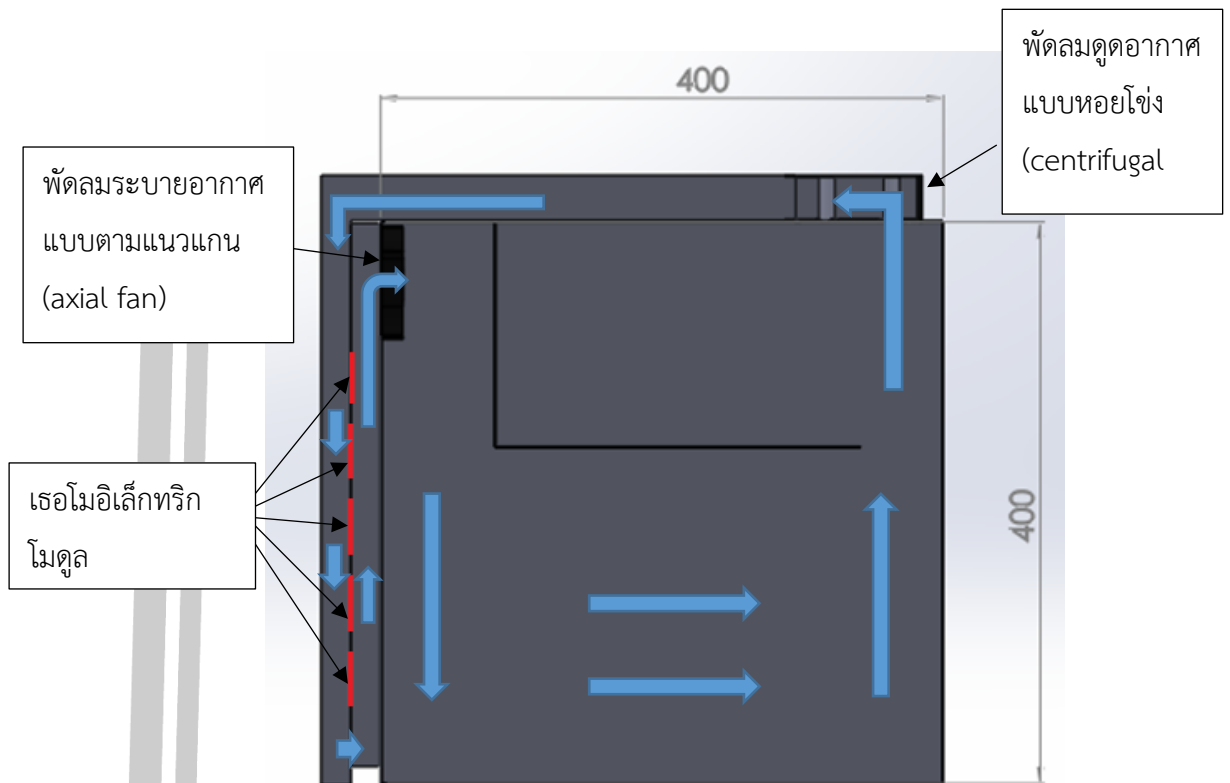
พัดลมดูดอากาศแบบหอยโข่ง (centrifugal fan) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 cm แรงดัน 24 V กำลังสูงสุด 9.6 W 1 ตัว ใช้ดูดอากาศจากภายในห้องอบให้ไหลสู่ด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกตามลำดับและเป็นตัวควบคุมความเร็วลมภายในท่อและห้องอบ



ภาพประกอบที่ 3.5 พัดลมดูดอากาศแบบหอยโข่ง (centrifugal fan)



ภาพประกอบที่ 3.7 เครื่องอบแห้งแบบฮีทโมอ์เล็กทริก



ภาพประกอบที่ 3.8 การเคลื่อนที่ของอากาศภายในระบบ

3.3 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพด้านต่างๆ ของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก ได้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการทดสอบ ควบคุม และเก็บข้อมูลดังนี้

3.3.1 เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ (Data logger)

เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ (Data logger) ยี่ห้อ Yokogawa MX100 ซึ่งมีโมดูลอินพุต 30 ช่อง ค่าความถูกต้องที่อุณหภูมิแวดล้อม ($23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) สามารถใช้งานร่วมกับสายเทอร์โมคัปเปิลทั้งชนิด K, E, J, T, L และ U และใช้ในการวัดค่าต่างๆ เช่น อุณหภูมิ (Thermocouple) แรงดันไฟฟ้า (DCV) แล้วทำการบันทึกค่าลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ ตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้



ภาพประกอบที่ 3.9 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger)

3.3.2 แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

ในการทดลองใช้เพื่อจ่ายแรงดันและไฟฟ้ากระแสตรงให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลยี่ห้อ instek PSS\2005 เป็นเครื่องจ่ายไฟที่มีการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าได้ 5RT-0 ช่วง 0 ถึง 20 โวลต์ (ค่าความละเอียด 0.01 โวลต์) ค่ากระแสไฟฟ้า 0 ถึง 5 แอมแปร์ (ค่าความละเอียด 0.001 แอมแปร์)



ภาพประกอบที่ 3.10 เครื่องจ่ายไฟ (Power supplies)

3.3.3 เทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Thermocouple type K) คือ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ชนิด คุณสมบัติของสายเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้มีช่วงอุณหภูมิ -200 ถึง 1350 °C ค่า

ความถูกต้อง $\pm 0.75\%$ หรือ ± 2.2 °C ฉนวนกันความร้อนเป็นพลาสติกสีเขียวกับสีขาว ชนิด PFA ที่ทนต่ออุณหภูมิ แรงดันกระแสไฟฟ้า และการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 cm



ภาพประกอบที่ 3.11 สายเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K

3.3.4 เครื่องวัดความเร็วลม

ในการวัดความเร็วลมใช้เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบลวดความร้อน (Hot wire anemometer) ยี่ห้อ TESTO Model 425 ค่าความผิดพลาด ± 0.01 เมตรต่อวินาที ใช้วัดความเร็วลมบริเวณท่อลมร้อนที่ออกจากห้องอบ (ภาพประกอบที่ 3.12) และความเร็วลมภายในห้องอบแห้ง



ภาพประกอบที่ 3.12 เครื่องวัดความเร็วลม

3.3.5 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ (แสดงค่าทั้งความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ)

ในการทดลองนี้โดยใช้เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ยี่ห้อ TESTO Model 635-2 ค่าอุณหภูมิความคลาดเคลื่อน ไม่เกิน ± 0.5 °C (ช่วงวัดอุณหภูมิ - 20 ถึง 70 °C) และค่าความชื้นสัมพัทธ์ ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 3 % (ช่วงวัดความชื้นสัมพัทธ์ 0 ถึง 100 % RH) ใช้วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์บริเวณท่อลมร้อนที่ออกจากห้องอบแห้ง



ภาพประกอบที่ 3.13 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์

3.3.6 เครื่องวัดไฟฟ้าแบบดิจิทัล

เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า ยี่ห้อ VICTOR รุ่น 9805A ค่าความถูกต้องแรงดัน DC $\pm 0.5\%$ และกระแสไฟฟ้า DC $\pm 0.8\%$ ใช้สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า



ภาพประกอบที่ 3.14 เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า (VICTOR 9805A)

3.3.7 เครื่องวัดค่าสี

เครื่องวัดสีอัตโนมัติ ยี่ห้อ Hunter lab รุ่น Colorflex EZ ความละเอียดของเครื่อง 0.01 ค่าพารามิเตอร์ที่ทำการพิจารณา คือค่าความสว่าง (L) ค่าความเป็นสีแดง (a) และค่าความเป็นสีเหลือง (b) ใช้ในการวัดค่าสีของไบสมุนไพรมะนาว และไบสมุนไพรมะนาวที่ผ่านการอบแห้งในแต่ละสภาวะที่ทดลอง



ภาพประกอบที่ 3.15 เครื่องวัดสีอัตโนมัติ (Hunter)

3.3.8 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลยี่ห้อ OHAUS รุ่น Pioneer™ Hem PA4102 ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักก่อน และหลังการอบแห้ง สามารถชั่งได้ไม่เกิน 4,100 กรัม ความละเอียดอยู่ที่ 0.01 กรัม



ภาพประกอบที่ 3.16 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

3.3.9. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น BE200 ความละเอียด 1 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 220 องศาเซลเซียส ใช้อบหาความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ

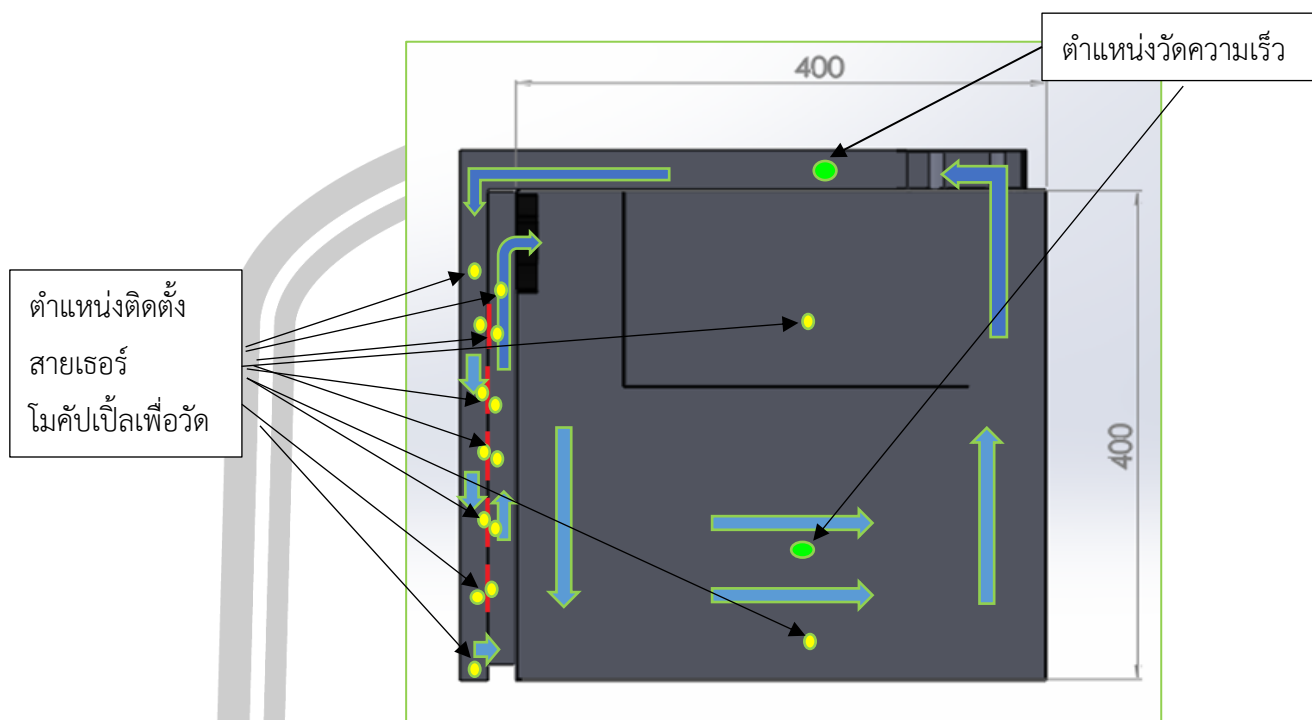


ภาพประกอบที่ 3.17 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

3.4 การเตรียมการทดลอง

3.4.1 ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิในห้องอบจำนวน 2 จุด ด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละโมดูล จำนวน 5 โมดูล จำนวน 10 จุด, ทางเข้าและทางออกของลมที่ผ่านครีบบระบายความร้อน 3 จุด รวมเป็น 15 จุด (จุดสีเหลืองในภาพประกอบที่ 3.18)

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ



ภาพประกอบที่ 3.18 แสดงตำแหน่งในการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ลในการวัดอุณหภูมิและตำแหน่งในการวัดความเร็วลม

3.4.2 เตรียมวัสดุที่จะอบ โดยล้างทำความสะอาดและเช็ดให้แห้ง จากนั้นนำมาหันตามขวางให้มีขนาดความกว้างประมาณ 2.5 มิลลิเมตร โดยมีความยาวตามลักษณะของใบสมุนไพร (ภาพประกอบที่ 3.19)

3.4.3 จ่ายกระแสไฟฟ้าให้พัดลมโดยปรับความถี่กระแสไฟฟ้าให้ได้ความเร็วลมตามต้องการ (วัดความเร็วลมที่จุดสีเขียวในภาพประกอบที่ 3.18)

3.4.4 จ่ายกระแสไฟฟ้าให้เทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละโมดูล โดยการปรับ DC Power supplies เพื่อควบคุมอุณหภูมิในห้องอบแห้งให้ได้ตามต้องการ (Power supply 1 ตัว ควบคุมเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล เพื่อความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิ และสะดวกในการบำรุงรักษาเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในระบบ) โดยใช้เวลาประมาณ 30 นาที เพื่ออุ่นห้องอบให้มีอุณหภูมิตามที่ต้องการ)



ภาพประกอบที่ 3.19 ลักษณะใบสมุนไพรก่อนนำเข้าสู่อบ (ก) ใบพลูควาศดหั่น (ข) ใบย่านางสดหั่น (ค) ใบย่านางแดงสดหั่น

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองนี้มีสภาวะที่ทำการทดลอง 6 สภาวะ โดยมีการปรับ ค่าอุณหภูมิที่ทำการทดลอง 3 อุณหภูมิ คือ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งทั้ง 3 อุณหภูมินี้จะทำการทดลองโดยปรับค่าที่ความเร็วลม 2 ค่า คือ 0.25 เมตรต่อวินาที และ 0.45 เมตรต่อวินาที

โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. เตรียมห้องอบให้มีความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
2. ชั่งน้ำหนักตะแกรงเปล่า จากนั้นนำตัวอย่างวัสดุใส่ตะแกรง โดยให้น้ำหนักของวัสดุ ตะแกรงละประมาณ 20 กรัม จำนวน 2 ตะแกรง โดยเกลี่ยวัสดุให้ทั่วตะแกรง จากนั้นจึงนำตะแกรงใส่เข้าไปในห้องอบแห้ง ที่มีสภาวะตามต้องการ (ทำการอุ่นห้องอบก่อนนำวัสดุเข้าห้องอบเพื่อให้ห้องอบมีสภาวะตามต้องการประมาณ 30 นาที)
3. นำวัสดุและตะแกรงออกมาชั่งน้ำหนักทุกๆ 5 นาที พร้อมบันทึกผล จนวัสดุมีน้ำหนักคงที่
4. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 ถึงข้อ 3 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิในห้องอบเป็น 50 และ 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 ถึงข้อ 4 โดยเปลี่ยนความเร็วลมในห้องอบเป็น 0.45 เมตรต่อวินาที

3.6 การทำนายอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

3.6.1 การคำนวณหาอุณหภูมิที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก (T_{hao}) โดยใช้การพิจารณาให้เทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละโมดูลเป็นก้อนวัตถุและอุณหภูมิของวัตถุเท่ากันทั้งก่อนตลอดระยะเวลาที่เกิดการถ่ายเทความร้อน ซึ่งแต่ละโมดูลเป็นอิสระต่อกัน และมีค่าพารามิเตอร์การดำเนินงานคงที่ ตลอดระยะเวลาที่เกิดการถ่ายเทความร้อนด้วย จึงใช้สมการการถ่ายเทความร้อนในระบบ Lumped (Jradi et al., 2011) ซึ่งเป็นระบบที่มีอุณหภูมิภายในวัตถุเปลี่ยนแปลงตามเวลา แต่ในขณะใดขณะหนึ่งอุณหภูมิที่จุดต่างๆในวัตถุมีค่าคงที่

$$\frac{T_{hao}-T_h}{T_{hai}-T_h} = \exp\left(\frac{-A_s h_{hot}}{\dot{m} C_{p_{hot}}}\right) \quad (3.1)$$

$$\frac{T_{cao}-T_c}{T_{cai}-T_c} = \exp\left(\frac{-A_s h_{cold}}{\dot{m} C_{p_{cold}}}\right) \quad (3.2)$$

เมื่อ	T_h, T_c	คือ	อุณหภูมิเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนและด้านเย็นตามลำดับ (K)
	T_{hao}, T_{cao}	คือ	อุณหภูมิที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนและด้านเย็นตามลำดับ (K)
	T_{hai}, T_{cai}	คือ	อุณหภูมิที่เข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนและด้านเย็นตามลำดับ (K)
	A_s	คือ	พื้นที่ผิวของครีบ (m^2)
	h_{hot}, h_{cold}	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้านร้อนและด้านเย็น (W/m^2K)
	\dot{m}	คือ	อัตราการไหลอากาศเชิงมวลด้านร้อนและด้านเย็น (kg/s)
	$C_{p_{hot}}, C_{p_{cold}}$	คือ	ความร้อนจำเพาะของอากาศด้านร้อนและด้านเย็น ($J/kg K$)

โดยที่ พื้นที่ผิวของครีบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (A_s) หาได้จาก

$$A_s = A_{fin} + A_{unfin}$$

$$A_{fin} = n[(2LH) + (tL)]$$

$$A_{unfin} = (n-1)(dL)$$

เมื่อ	A_{fin}	คือ พื้นที่ที่มีครีบบรรเทาความร้อน (m^2)
	A_{unfin}	คือ พื้นที่ที่ไม่มีครีบบรรเทาความร้อน (m^2)
	n	คือ จำนวนครีบ
	H	คือ ความสูงครีบ (m)
	L	คือ ความยาวครีบ (m)
	t	คือ ความหนาครีบ (m)
	w	คือ ความกว้างฐาน (m)
	d	คือ ระยะห่างระหว่างครีบ (m)

3.6.2 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat transfer coefficient, h)

Re_D = ความเร็วลมที่ผ่านครีบ * D_h / ν (Reynold number)

D_h = ใช้ D_h แทน D ถ้าไม่ใช่ท่อกลม $D_h = 4 A_c / p$
โดยที่ $A_c =$ พท.หน้าตัดท่อ (m^2), $p =$ เส้นรอบรูป (m)

L = ความยาวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (ความยาวครีบ) = 0.025m

Pr = Prandtl Number (เปิดตาราง)

ν = kinematic viscosity (m^2 / s) (เปิดตาราง)

k = Thermal Conductivity (W/m-K) (เปิดตาราง)

เมื่อห้องอบแห้งมีอุณหภูมิ $40^\circ C$ ความเร็วลม 0.25 m/s อุณหภูมิเฉลี่ยด้านร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ 317 K (อุณหภูมิที่ใช้ในการเปิดตาราง) จะได้

$$Pr = 0.705$$

$$\nu = 17.60 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / s$$

$$k = 0.028 \text{ W/mK}$$

$$D_h = (4 \times 0.016 \times 0.00273) / (2 \times (0.016 + 0.00273)) \text{ m}$$

$$= 0.004664 \text{ m}$$

$$Re_D = (9.33 \text{ m/s} \times 0.004664 \text{ m}) / 17.60 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / s$$

$$= 2472.515 \text{ (} 2300 < Re < 10,000 \text{ เป็นการไหลแบบ Transition) (Hagen,$$

1999) (ความเร็วลมผ่านครีบ 9.33 m/s)

เมื่อสมมติให้เป็นการไหลในท่อเรียบ มีการถ่ายเทความร้อนสม่ำเสมอในทุกทิศทางและ

$$0.6 < Pr < 2000, \quad Re_D > 2300$$

จะได้ว่า

$$Nu = \left[\frac{(f/8)(Re - 1000)Pr}{1 + (12.7 \cdot (f/8)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1))} \right] \cdot \left(1 + (D/L)^{2/3} \right) \quad (1)$$

$$f = 0.25 / (\log(5.74 / Re^{0.9}))^2 \quad (2)$$

แทนค่าต่างๆใน สมการ (1) และ (2)

จะได้ $f = 0.047$

$$Nu = 8.827$$

$$h = Nu \cdot k / D_h = 46.243 \text{ W/m}^2\text{C}$$

สมการต่างๆ ได้จากหนังสือ Heat Transfer with Application (Hagen, 1999)

ในการทำนายอุณหภูมิที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านร้อนและด้านเย็นของ เฮอร์โมอีเล็กทริก สามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ 3.1 ในการคำนวณหาอุณหภูมิที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านร้อน (T_{hao}) และ สมการที่ 3.2 ในการคำนวณหาอุณหภูมิที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านเย็น ดังนี้

1. ป้อนค่า Th และตัวแปรคงที่ต่างๆในสมการที่ 3.1 เพื่อให้ได้ค่า $Thao$

2. และในสมการที่ 3.2 ป้อนค่า $Tcai$ Tc และตัวแปรคงที่ต่างๆ เพื่อให้ได้ค่า $Tcao$

แล้วนำค่า $Thao$ $Tcao$ ที่ได้จากการคำนวณนี้ไปเปรียบเทียบกับค่า $Thao$ $Tcao$ ที่ได้จากการทดลองต่อไป

พูน ปรุ ทิโต ชีเว

3.7 การวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ

3.7.1 การหาความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ

ในการหาความชื้นเริ่มต้นของวัสดุใช้ตู้อบลมร้อน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำความสะอาดวัสดุโดยการนำไปล้าง และเช็ดให้แห้ง
2. หั่นตามขวางให้มีขนาดความกว้างประมาณ 2.5 มิลลิเมตร
3. ชั่งน้ำหนักกระป๋องสำหรับใส่วัสดุในการอบ (Moisture can) พร้อมกับบันทึกค่าน้ำหนักกระป๋องไว้
4. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่กระป๋อง (Moisture can) แล้วชั่งน้ำหนักรวมของกระป๋องกับวัสดุให้มีน้ำหนักของวัสดุที่อยู่ในกระป๋องประมาณ 5 กรัม จำนวน 4 กระป๋อง (4 ซ้ำ)
5. ตั้งค่าอุณหภูมิตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ให้มีค่าอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส
6. นำวัสดุใส่ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) จับเวลาการอบแห้ง จนน้ำหนักคงที่
7. ขณะอบแห้งต้องนำวัสดุออกมาชั่งน้ำหนัก เมื่อเวลาผ่านไป 24 30 36 48 และ 72 ชั่วโมง

8. นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณความชื้นในวัสดุ

3.7.2 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หา

1. นำข้อมูลน้ำหนักวัสดุที่ลดลงทุก 5 นาที ไปหาความชื้นมาตรฐานแห่งในขณะทำการอบแห้ง จากสมการที่ (2.2)
2. นำข้อมูลอุณหภูมิทางเข้า และออกเทอร์โมอิเล็กทริกไปคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก จากสมการที่ (2.7)
3. นำข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้เทอร์โมอิเล็กทริกและพัดลมไปคำนวณหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance) ของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก จากสมการที่ (2.6)
4. นำข้อมูลพลังงานที่ใส่ให้ระบบทั้งหมด และน้ำในวัสดุที่ระเหย (น้ำหนักเริ่มต้น - น้ำหนักสุดท้าย) ไปคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER) จากสมการที่ (2.9) และ (2.10) ตามลำดับ

3.7.3 การวัดสี

ทำการวัดสีโดยใช้เครื่องวัดสีฮันเตอร์ (Hunter) ค่าพารามิเตอร์ที่ทำการ พิจารณา คือ ค่าความสว่าง (L) ค่าความเป็นสีแดง (a) และค่าความเป็นสีเหลือง (b)

L คือ ค่าความสว่าง ตั้งแต่ 0 - 100

A คือ ค่าที่บ่งบอกค่าสีเขียวและสีแดง โดยค่า a- แสดงความเป็นสีเขียว และ a+ แสดงความเป็นสีแดง

b คือ ค่าที่บ่งบอกถึงสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดย b+ แสดงความเป็นสีเหลือง b- แสดงความเป็นสีน้ำเงิน

ขั้นตอนการวัดสีวัดสุ่มมีขั้นตอน ดังนี้

1. ทำการสอบเทียบ (Calibrate) เครื่องวัดสีด้วยแผ่นกระเบื้องเทียบสีขาวและสีดำ
2. นำวัสดุสด และที่อบแห้งแล้วมาวัดสีและอ่านค่า
3. ทำการบันทึกค่าที่วัดได้
4. ทำทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

3.7.4. นำวัสดุที่ผ่านการอบไปทดสอบหาสารออกฤทธิ์ (สารฟลาโวนอยด์และสารฟีนอลิก) ของวัสดุแต่ละชนิด

1. นำใบแห้งในแต่ละสภาวะไปบดให้ละเอียด
2. สกัดโดยการหมัก (maceration) ด้วยสารละลายเอธานอล 95% ในอัตราส่วน ผงแห้งใบพลูควาน้ำหนัก 1 ส่วน ต่อ สารละลายปริมาตร 20 ส่วน (1:20 w/v)
3. ทำการหมักเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง whatman no.1
4. นำสารละลายที่ได้จากการกรองไประเหยแห้งด้วยเครื่อง rotary evaporator (ความดัน 200 Mbar, อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที)
5. เก็บสารสกัดในภาชนะทึบแสง เก็บที่ 4 องศาเซลเซียส
6. หาปริมาณสารฟลาโวนอยด์ ด้วยวิธี Aluminum chloride colorimetric method (Park et al, 2008)
7. หาปริมาณสารฟีนอลิก ด้วยวิธี Folin Ciocalteu method (Park et al., 2008)

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ

บทที่ 4

ผลการดำเนินการ

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งอุณหภูมิต่ำแบบเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการอบแห้งสมุนไพร โดยได้ทำการศึกษาการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกที่สภาวะต่างกันทั้งหมด 6 สภาวะ คือ

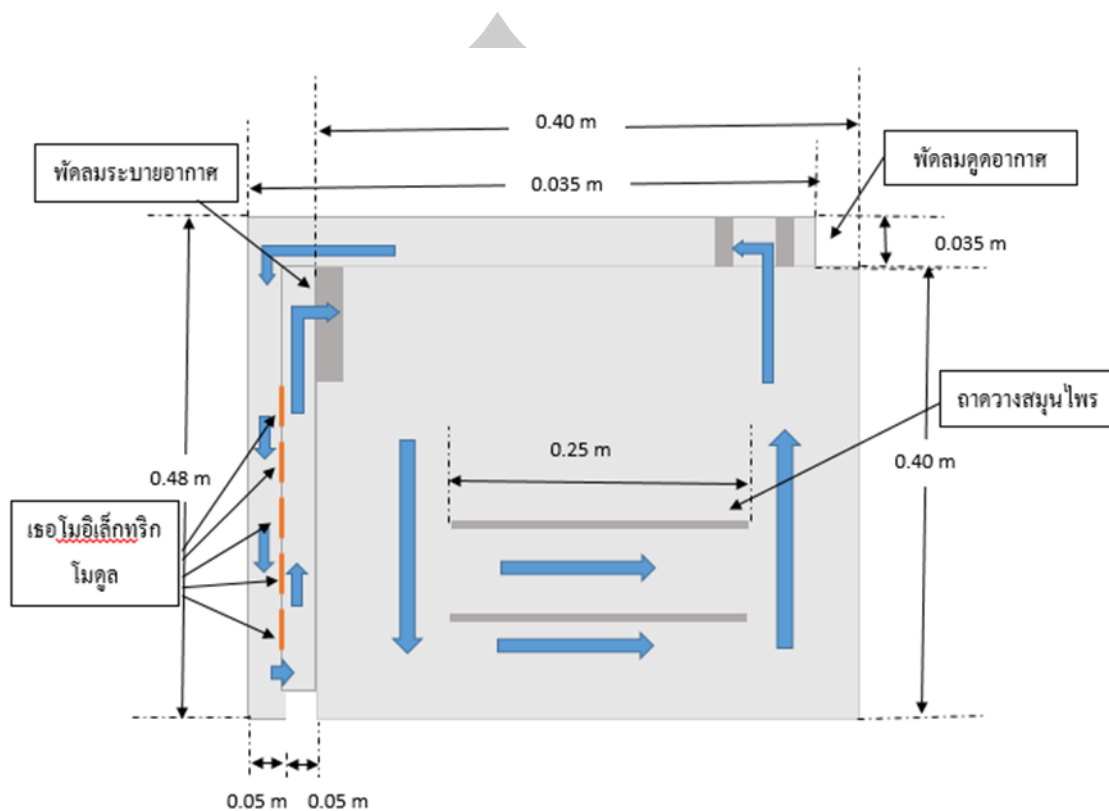
สภาวะอุณหภูมิต่ำในห้องอบแห้ง 40 องศาเซลเซียส ความเร็วลมในห้องอบแห้ง 0.25 เมตร/วินาที
 สภาวะอุณหภูมิต่ำในห้องอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลมในห้องอบแห้ง 0.25 เมตร/วินาที
 สภาวะอุณหภูมิต่ำในห้องอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลมในห้องอบแห้ง 0.25 เมตร/วินาที
 สภาวะอุณหภูมิต่ำในห้องอบแห้ง 40 องศาเซลเซียส ความเร็วลมในห้องอบแห้ง 0.45 เมตร/วินาที
 สภาวะอุณหภูมิต่ำในห้องอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลมในห้องอบแห้ง 0.45 เมตร/วินาที
 สภาวะอุณหภูมิต่ำในห้องอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลมในห้องอบแห้ง 0.45 เมตร/วินาที

รวมทั้งศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้ง โดยได้ผลการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

- 4.1 ผลการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก
- 4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก
- 4.3 ผลการการให้นายอุณหภูมิต่ำด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก
- 4.4 จนพลาศาสตร์ของการอบแห้งด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก
- 4.5 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเทอร์โมอิเล็กทริก

พหุ ประ โท ชีวะ

4.1 ผลการสร้างและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก



ภาพประกอบที่ 4.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก

เครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกมีส่วนประกอบสำคัญ ดังนี้

4.1.1. ห้องอบแห้งอะลูมิเนียมมีปริมาตรภายใน $0.40 \times 0.40 \times 0.35 \text{ m}^3$ บุด้วยฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 1 cm ภายในประกอบด้วยตะแกรงลวดสแตนเลสใ่วัดขนาด $0.25 \times 0.25 \text{ m}^2$ จำนวน 2 ถาด และชุดแผ่นกั้นลมร้อน เพื่อให้ลมร้อนไหลเวียนไปในทิศทางที่ต้องการ

4.1.2. ระบบชุดท่อให้ความร้อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด $0.06 \times 0.05 \times 0.48 \text{ m}^3$ ด้านข้างตู้อบ ซึ่งภายในประกอบด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก ยี่ห้อ Tianjin lantian model TEC1-12710 จำนวน 5 โมดูล เชื่อมต่อกับท่อของลมร้อนที่ออกจากตู้อบที่ติดตั้งอยู่ด้านบนของตู้อบมีขนาด $0.06 \times 0.035 \times 0.35 \text{ m}^3$

4.1.3 พัดลม 2 ตัว คือ พัดลมระบายอากาศแบบตามแนวแกน (axial fan) ขนาด $8 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$ (กว้างxยาว) แรงดัน 12 V กระแสไฟ 1.35 A 1 ตัว ติดตั้งด้านข้างตู้อบ และพัดลมดูดอากาศแบบทอยโข่ง (centrifugal fan) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 cm แรงดัน 24 V กำลังสูงสุด 9.6 W 1 ตัว ติดตั้งด้านบนตู้อบ

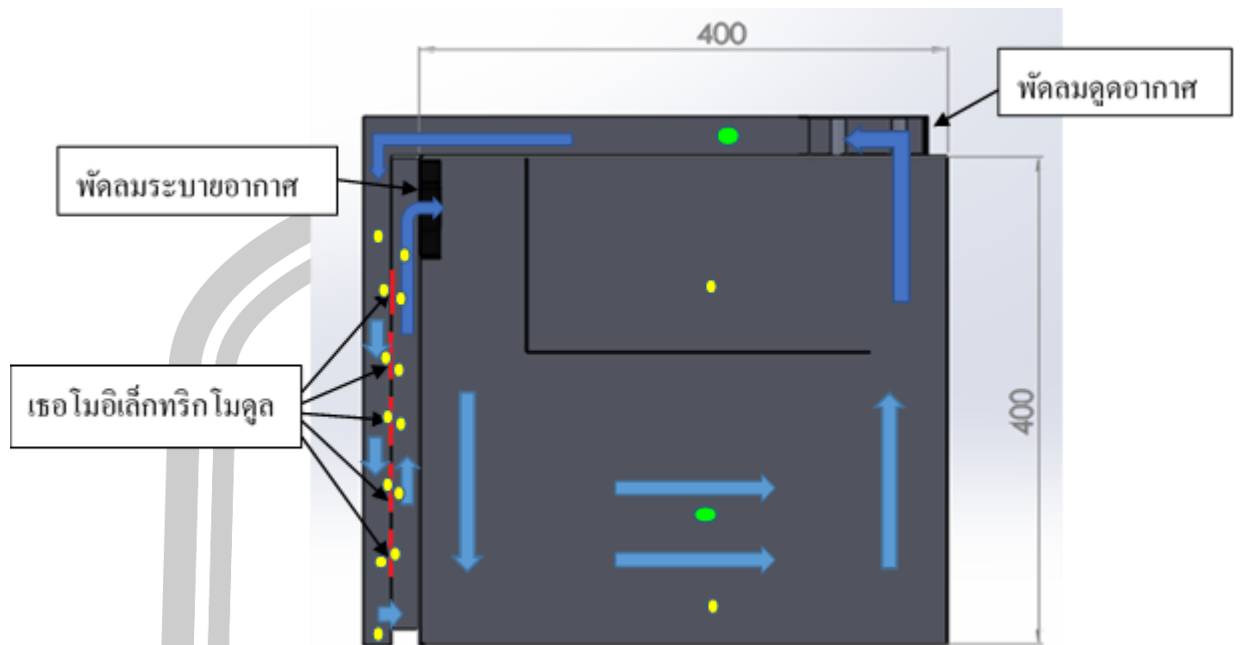
เครื่องอบแห้งแบบฮีโรโมอิลีกทริกที่ออกแบบและพัฒนาในงานวิจัยนี้ สามารถอบแห้งวัสดุแบบชั้นบางได้ประมาณ 40 กรัมต่อครั้ง (ภายในเครื่องอบแห้งมีภาชนะบรรจุ 2 ถาด แต่ละถาดสามารถวางสมุนไพรได้ 20 กรัม) โดยมีฮีโรโมอิลีกทริกจำนวน 5 โมดูล เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน และมีพัดลมดูดอากาศแบบหอยโข่งจำนวน 1 ตัว เป็นแหล่งกำเนิดลมแก่ห้องอบ การควบคุมอุณหภูมิและความเร็วลมภายในห้องอบ สามารถทำได้โดยการปรับกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ฮีโรโมอิลีกทริก และพัดลมดูดอากาศเพื่อให้ห้องอบมีอุณหภูมิและความเร็วลมที่ตามต้องการ

ก่อนการทำการทดลองอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฮีโรโมอิลีกทริก จำเป็นต้องจ่ายไฟให้ฮีโรโมอิลีกทริกและพัดลมทั้งสองตัวที่ติดตั้งในระบบ ก่อนการอบในแต่ละสภาวะเป็นเวลาประมาณ 30 นาที เพื่อเป็นการเตรียมเครื่องให้อยู่ในสภาวะที่ต้องการ

จากภาพประกอบที่ 4.2Error! Reference source not found. เครื่องอบแห้งแบบฮีโรโมอิลีกทริกมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

พัดลมดูดอากาศแบบหอยโข่ง (centrifugal fan) ที่ติดตั้งอยู่ด้านบนตู้อบทำการดูดอากาศจากภายในห้องอบแห้งให้ไหลไปตามท่อที่ติดตั้งอยู่ด้านบนตู้อบ อากาศจะไหลต่อไปยังท่อที่มีการติดตั้งฮีโรโมอิลีกทริกด้านเย็น จากนั้นอากาศจะไหลผ่านไปที่ท่อส่วนที่ติดตั้งฮีโรโมอิลีกทริกด้านร้อน เพื่อเป็นการนำอากาศร้อนเข้าสู่ห้องอบ โดยอากาศร้อนที่ไหลเข้าสู่ห้องอบจะไหลผ่านพัดลมระบายอากาศแบบตามแนวแกน (axial fan) และสมุนไพรภายในห้องอบ (พริกแดง, ย่านาง และย่านางแดง) จากนั้นพัดลมดูดอากาศที่ติดตั้งอยู่ด้านบนห้องอบจะทำการดูดอากาศจากภายในห้องอบแห้งให้ไหลวนไปตามขั้นตอนที่กล่าวข้างต้น เป็นเช่นนี้จนสมุนไพร (พริกแดง, ย่านาง และย่านางแดง) แห้งตามต้องการ

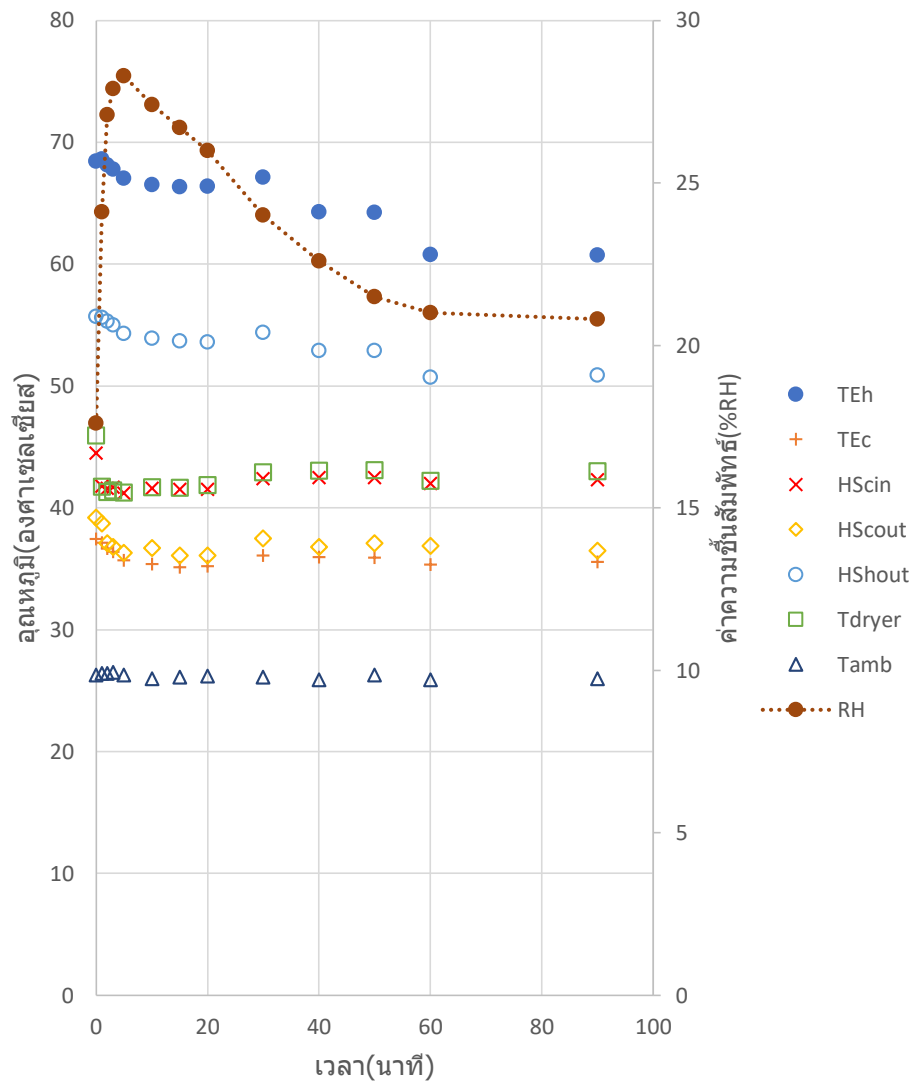
พญ. ปณ. ทิโต ชีเว



ภาพประกอบที่ 4.2 แสดงตำแหน่งในการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ลในการวัดอุณหภูมิ (จุดสีเหลือง) และตำแหน่งในการวัดความเร็วลม (จุดสีเขียว)

ในขณะที่ทำการทดลองอบแห้งพืชสมุนไพรต่างๆ ได้ทำการวัดอุณหภูมิและความเร็วลมในตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องอบแห้งด้วยเซอร์โมอิเล็กทริก จากภาพประกอบที่ 4.2 จุดสีเขียวแสดงตำแหน่งที่ทำการวัดความเร็วลม และจุดสีเหลืองแสดงตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิขณะทำการทดลอง โดยได้ผลการทดลองดังภาพประกอบที่ 4.3 ซึ่งเป็นตัวอย่างค่าอุณหภูมิที่ได้รับจากการทดลองอบแห้งใบย่านางที่อุณหภูมิ $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ และอัตราการไหลของอากาศ 0.0046 kg/s





ภาพประกอบที่ 4.3 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกในระหว่างการอบแห้งใบพลูควาวที่อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศเท่ากับ $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ 0.0046 kg/s ตามลำดับ

อักษรย่อที่แสดงในภาพประกอบที่ 4.3 มีความหมายดังนี้

TEh คือ อุณหภูมิเฉลี่ยที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก

TEc คือ อุณหภูมิเฉลี่ยที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

HScin คือ อุณหภูมิอากาศที่เข้าสู่ Heat Sink ด้านเย็น

HScout คือ อุณหภูมิอากาศที่ออกจาก Heat Sink ด้านเย็น

HShout คือ อุณหภูมิอากาศที่ออกจาก Heat Sink ด้านร้อน

T_{dryer}	คือ อุณหภูมิห้องอบ
T_{amb}	คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม
RH	คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในระบบ (วัดที่ท่อด้านบนห้องอบ)

ภาพประกอบที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าขณะทำการทดลองเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนอุณหภูมิสูงสุดในระบบ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นความร้อน และเป็นแหล่งความร้อนของระบบเมื่อได้รับพลังงานไฟฟ้าจึงมีอุณหภูมิสูง ส่งผลให้อุณหภูมิที่ออกจาก เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านร้อนมีค่าสูงด้วย ส่วนอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็น อุณหภูมิที่เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านเย็น อุณหภูมิที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านเย็นและอุณหภูมิของห้องอบมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากลมร้อนที่เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านเย็นคือลมร้อนที่ออกจากห้องอบ อากาศที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านเย็นเชื่อมอยู่กับอากาศที่เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านร้อน จึงได้รับความร้อนจากอากาศที่ออกจากเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนด้วยส่วนเทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็นเป็นส่วนที่รับลมร้อนที่ออกจากห้องอบ (อุณหภูมิที่เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านเย็น) และรับการถ่ายเทความร้อนจากเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนแม้ว่าในการออกแบบเครื่องอบแห้งนี้ จะมีการติดตั้งนวนระหว่างเทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละโมดูลเพื่อช่วยป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนแล้วก็ตาม เป็นผลให้เทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็นมีอุณหภูมิสูงกว่าที่ควรจะเป็น

เนื่องจากในการทดลองได้มีการอุ่นห้องอบให้มีอุณหภูมิตามต้องการหรือสูงกว่าต้องการเล็กน้อยแต่เมื่อทำการเปิดห้องอบเพื่อนำสมุนไพรเข้าห้องอบแห้ง พบว่ามีผลทำให้ห้องอบแห้งมีอุณหภูมิลดลง ในการอบระยะแรกจึงได้จ่ายไฟให้เทอร์โมอิเล็กทริกในปริมาณมาก เพื่อควบคุมให้ห้องอบแห้งมีอุณหภูมิตามที่ต้องการ หลังจากเริ่มการอบไปประมาณ 20-40 นาที จะมีการปรับลดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อควบคุมอุณหภูมิของห้องอบแห้ง เป็นผลทำให้เทอร์โมอิเล็กทริกมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว (ดังภาพประกอบที่ 4.3) เนื่องมาจากในการอบแห้งระยะแรกสมุนไพรหรือวัสดุที่ใช้อบมีความชื้นมากจึงคายความชื้นให้ระบบมาก ทำให้ระบบมีอุณหภูมิต่ำ เมื่ออบแห้งสมุนไพรไปได้ระยะหนึ่งสมุนไพรจะมีความชื้นลดลง ทำให้ความชื้นในระบบลดลงไปด้วย เป็นผลทำให้ระบบจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น ขณะเดียวกันเมื่อมีการปรับลดหรือเพิ่มกระแสไฟฟ้าให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก เทอร์โมอิเล็กทริกจะมีการตอบสนองที่เห็นได้ชัดเจนและรวดเร็วกว่าห้องอบแห้ง เนื่องจากเทอร์โมอิเล็กทริกนี้เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้าโดยตรงและมีขนาดเล็กกว่าห้องอบแห้งมาก

4.2 สมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก

ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกนั้น ใช้วัตถุดิบในการทดสอบ 3 ชนิด คือ ใบพลูควาว ใบย่านาง และใบย่านางแดง โดยค่าสมรรถนะที่เราให้ความสนใจในงานวิจัยนี้คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ(Coefficient of Performance, COP) ค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) และ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER)

4.2.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งเทอร์โมอิเล็กทริกในการอบแห้งพืชสมุนไพร (ใบพลูควาว ใบย่านาง และใบย่านางแดง)

ตารางที่ 4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance) ค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption) และ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER) ของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกในการอบแห้งพืชสมุนไพร เมื่ออัตราการไหลของอากาศมีค่า 0.0043 kg/s

ชนิดสมุนไพร	Temp.Dryer (°C)	Th (°C)	Tc (°C)	PowerTE (Wh)	Power total(Wh)	COP	SEC (MJ/kgน้ำ)	SMER (kgwater/kWh)
ใบพลูควาว	40	63.40	35.67	137.67	160.69	1.87	17.68	0.20
	50	86.08	46.08	131.63	148.12	2.04	16.26	0.22
	60	110.04	58.31	187.94	199.86	1.27	21.94	0.16
ใบย่านาง	40	62.87	35.03	155.10	184.50	0.38	27.22	0.13
	50	97.93	51.81	192.67	209	0.96	15.99	0.23
ใบย่านางแดง	40	62.78	34.52	86.85	100.89	1.85	18.53	0.20
	50	92.11	49.46	78.23	88.03	2.15	15.99	0.23
	60	109.04	56.86	98.98	105.02	1.38	19.13	0.19

ตารางที่ 4.2 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance) ค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ(Specific energy consumption) และ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER) ของเครื่องอบแห้งแบบเรอร์โมอีเล็กทริกในการอบแห้งพืชสมุนไพร เมื่ออัตราการไหลของอากาศมีค่า 0.0076 kg/s

ชนิดสมุนไพร	Temp.Dryer (°C)	Th (°C)	Tc (°C)	PowerTE (Wh)	Power total(Wh)	CO P	SEC (MJ/kgน้ำ)	SMER (kgwater/kWh)
ใบพลูคาว	40	61.85	34.57	141.00	163.72	1.35	17.98	0.20
	50	90.97	49.90	119.02	133.47	1.43	14.68	0.25
	60	110.95	60.18	194.26	206.87	0.90	22.74	0.16
ใบย่านาง	40	67.055	36.05	159.09	184.70	0.67	27.25	0.13
	50	95.57	51.54	226.45	246.15	0.70	14.72	0.24
ใบย่านางแดง	40	65.88	36.00	87.95	99.77	1.10	18.14	0.20
	50	93.30	50.62	72.26	80.41	1.37	14.72	0.24
	60	108.62	58.16	107.65	113.69	0.77	20.77	0.17

จากตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2 ซึ่งเป็นตารางที่แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งใบสมุนไพร พลูคาว ย่านางและย่านางแดง ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.0043 kg/s และ 0.0076 kg/s ตามลำดับ พบว่าอุณหภูมิของเรอร์โมอีเล็กทริกด้านร้อนและด้านเย็นแปรผันกับอุณหภูมิของห้องอบ เนื่องจากเมื่อต้องการอุณหภูมิในห้องสูงจำเป็นต้องจ่ายไฟให้เรอร์โมอีเล็กทริกมากกว่าสภาวะที่ต้องการให้ห้องอบมีอุณหภูมิต่ำ จึงส่งผลให้เรอร์โมอีเล็กทริกมีอุณหภูมิสูง ค่าสมรรถนะของเครื่องอบแห้งเรอร์โมอีเล็กทริก ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance) ค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption) และ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER) ในการอบสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด

(พลูควา ย่านาง และย่านางแดง) มีแนวโน้มที่ดีเมื่ออบแห้งสมุนไพรที่อุณหภูมิห้องอบ 50 °C ในทั้งสองอัตราการไหลของอากาศ เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ใช้พลังงานไม่มากนักและใช้เวลาในการอบแห้งไม่มาก จึงทำให้ใช้กำลังไฟฟ้า-ชั่วโมง (Wh) ต่ำ เป็นผลให้ค่าสมรรถนะดังกล่าวมีแนวโน้มที่ดีซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปรีดา ชัยรงค์ศรี (2556) สันติสุข ภูงกุลและสุวิทย์ หลงสวนจิก (2557) และ Park et al. (2002) ซึ่งงานวิจัยทั้ง 3 ได้ทำการอบแห้งสมุนไพร คือ ใบย่านาง ใบรางจืด และใบมีน ตามลำดับ ในหลายสภาวะโดยมีการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ และความเร็วลมในการอบแห้งพืชดังกล่าว ได้พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดในการอบแห้งพืชที่ใช้ในการทดลอง คือ สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 50 °C มีความเร็วลม 0.45 m/s (ใบย่านางและใบรางจืด) และ สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 50 °C มีความเร็วลม 1.0 m/s

4.2.2 อิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งเฮอร์มิโอเล็กทริกในการอบแห้งพืชสมุนไพร (ใบพลูควา ใบย่านาง และใบย่านางแดง)

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) ค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) และ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER) ของเครื่องอบแห้งแบบเฮอร์มิโอเล็กทริก ในการอบแห้งพืชสมุนไพร เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ชนิดสมุนไพร	Temp.Dryer (°C)	Th (°C)	Tc (°C)	PowerTE (Wh)	Power total (Wh)	COP	SEC (MJ/kgน้ำ)	SMER (kgwater/kWh)
ใบพลูควา	0.0043	61.85	34.57	141.00	163.72	1.35	17.98	0.20
	0.0076	63.40	35.67	137.67	160.69	1.87	17.68	0.20
ใบย่านาง	0.0043	67.06	36.05	159.09	184.70	0.67	27.25	0.13
	0.0076	62.87	35.03	155.10	184.50	0.38	27.22	0.13
ใบย่านางแดง	0.0043	65.88	36.00	87.95	99.77	1.10	18.14	0.20
	0.0076	62.78	34.52	86.85	100.89	1.85	18.53	0.20

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ(Coefficient of Performance)ค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption) และ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER) ของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก ในการอบแห้งพืชสมุนไพร เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ชนิดสมุนไพร	Temp.Dryer (°C)	Th(°C)	Tc(°C)	PowerTE (Wh)	Power total(Wh)	COP	SEC (MJ/kgน้ำ)	SMER (kg water/kWh)
ใบพลูคาว	0.0043	90.97	49.90	119.02	133.47	1.43	14.68	0.25
	0.0076	86.08	46.08	131.63	148.12	2.04	16.26	0.22
ใบย่านาง	0.0043	95.57	51.54	226.45	246.15	0.70	14.72	0.24
	0.0076	97.93	51.81	192.67	209	0.96	15.99	0.23
ใบย่านางแดง	0.0043	93.30	50.62	72.26	80.41	1.37	14.72	0.24
	0.0076	92.11	49.46	78.23	88.03	2.15	15.99	0.23

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance) ค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption) และ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER) ของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก ในการอบแห้งพืชสมุนไพร เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ชนิดสมุนไพร	Temp.Dryer (°C)	Th (°C)	Tc (°C)	PowerTE (Wh)	Power total (Wh)	COP	SEC (MJ/kgน้ำ)	SMER (kgwater/kWh)
ใบพลูคาว	0.0043	110.95	60.18	194.26	206.87	0.90	22.74	0.16
	0.0076	110.04	58.31	187.94	199.86	1.27	21.94	0.16
ใบย่านางแดง	0.0043	108.62	58.16	107.65	113.69	0.77	20.77	0.17
	0.0076	109.04	56.86	98.98	105.02	1.38	19.13	0.19

ตารางที่ 4.3 - ตารางที่ 4.5 เป็นตารางแสดงอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศในแต่ละอุณหภูมิ พบว่าในพืชชนิดเดียวกันและอบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกัน จะมีค่าต่างๆใกล้เคียงกัน ได้แก่ ค่าอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก ค่ากำลังไฟที่จ่ายให้เทอร์โมอิเล็กทริก (Wh) และ

ค่ากำลังไฟทั้งหมดที่จ่ายให้แก่ระบบ (Wh) ซึ่งส่งผลให้ค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption) และ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER) ในเงื่อนไขดังกล่าว มีค่าใกล้เคียงกันด้วย เนื่องจากเป็นค่าที่เกิดจากการนำค่าต่างๆข้างต้นมาคำนวณ (ค่ากำลังไฟที่จ่ายให้เทอร์โมอิเล็กทริก (Wh) และค่ากำลังไฟทั้งหมดที่จ่ายให้แก่ระบบ (Wh)) จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าอัตราการไหลของอากาศมีอิทธิพลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งเทอร์โมอิเล็กทริกในการอบแห้งพืชสมุนไพร (ใบพลูควาว ใบย่านาง และใบย่านางแดง) ค่อนข้างน้อยและไม่ชัดเจน เมื่อเทียบกับอิทธิพลของอุณหภูมิต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaya and Aydin (2009) ซึ่งได้ศึกษาการอบแห้งใบตำแยฝรั่ง และ ใบมัน ที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 0.2 0.4 และ 0.6 m/s แล้วพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการอบแห้งมากกว่าความเร็วลมเป็นอย่างมากเช่นกัน

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance) ในการอบแห้งสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด คือ ใบย่านาง ใบย่านางแดง และใบพลูควาว มีค่ามากที่สุดที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลมในห้องอบ 0.45 เมตร/วินาที หรืออัตราการไหลของอากาศ 0.0076 kg/s เพราะถึงแม้ว่าสภาวะดังกล่าวจะมีการใช้พลังงานมากกว่าหลายสภาวะที่ทำการทดลอง แต่เนื่องจากสภาวะดังกล่าวใช้เวลาในการอบแห้งที่สั้นจึงทดแทนได้กับพลังงานที่ใช้ไปได้ ในส่วนของค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER) จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มที่ดีเมื่ออบสมุนไพรที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 0.25 เมตร/วินาที หรืออัตราการไหลของอากาศ 0.0043 kg/s ดังนั้นสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเครื่องอบแห้งเทอร์โมอิเล็กทริกในงานวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองอบแห้งสมุนไพรโดยเครื่องเทอร์โมอิเล็กทริกก่อนหน้าของ ปรีดา ไชยรงค์ศรี (2556) และ สันติสุข ภูงกุล และสุวิทย์ หลงสวนจิก (2557) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Park et al. (2002) ที่กล่าวไปแล้วข้างต้น

นอกจากนี้ยังพบว่าในการอบแห้งพืชสมุนไพร 3 ชนิด ใบย่านางใช้พลังงานในการอบแห้งมากที่สุดเพราะนอกจากจะมีปริมาณความชื้นมากแล้ว (61.3 % wb.) ยังมีลักษณะใบที่หนากว่าพืชสมุนไพรอีก 2 ชนิดมาก ใบย่านางแดงใช้พลังงานในการอบแห้งน้อยที่สุด เนื่องจากมีความชื้นน้อยที่สุด (56.7% wb.) และมีลักษณะความหนาของใบใกล้เคียงกับใบพลูควาว ใบพลูควาวใช้พลังงานในการอบแห้งระดับกลาง เพราะถึงแม้ว่าจะมีความชื้นมากที่สุด (88% wb.) แต่ก็มีลักษณะของใบที่บางและอ่อน (มีลักษณะของใบที่บางและอ่อนกว่าใบย่านาง และ ใบย่านางแดง) จากผลการทดลองจะเห็นได้

ว่านอกจากปริมาณความชื้นของสมุนไพรจะมีผลต่อการใช้พลังงานในการอบแห้งแล้ว ลักษณะทางกายภาพของสมุนไพรก็ยังมีส่วนต่อการใช้พลังงานในการอบแห้งด้วยเช่นกัน (Fatouh et al., 2006)

เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบเรอร์โมอิล็กทริกที่เคยสร้างและทดสอบมา (ปรีดาไชยรงค์ศรี, 2556) พบว่าเครื่องอบแห้งแบบเรอร์โมอิล็กทริกในงานวิจัยนี้ สามารถประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 35.47-56.37 ในปริมาณวัสดุอบแห้งที่เท่ากัน แม้จะใช้เวลาในการอบแห้งมากกว่าก็ตาม

4.3 ผลการทำนายอุณหภูมิออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านร้อนและด้านเย็นของเรอร์โมอิล็กทริก

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านร้อนและด้านเย็นของชุดเรอร์โมอิล็กทริกระหว่างการทดลองและการทำนายในการอบใบพลูคา

อัตราการไหลของอากาศ	อุณหภูมิห้องอบ (K)	อุณหภูมิที่วัดได้ (ออกจากHS)		ค่าที่คำนวณได้ (ออกจากHS)		%ค่าความคลาดเคลื่อน	
		ด้านร้อน (K)	ด้านเย็น (K)	ด้านร้อน (K)	ด้านเย็น (K)	ด้านร้อน	ด้านเย็น
0.0043 kg/s	313	324.02	306.93	327.25	309.69	0.350	0.898
	323	346.19	321.21	348.85	323.72	0.766	0.780
	333	361.03	331.88	365.54	332.84	1.249	0.288
0.0076 kg/s	313	325.32	308.99	327.36	310.64	0.629	0.533
	323	341.99	317.68	345.80	320.32	1.115	0.830
	333	359.37	329.44	366.28	330.73	1.923	0.392

หมายเหตุ HS = เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Heat Sink)

พหุ ประถมศึกษา

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่ออกจากด้านร้อนและด้านเย็นของชุดเทอร์โมอิเล็กทริก ระหว่างการทดลองและการทำนายในการอบไอน้ำนางแดง

อัตราการไหลของอากาศ	อุณหภูมิห้องอบ (K)	อุณหภูมิที่วัดได้ (ออกจากHS)		ค่าที่คำนวณได้ (ออกจากHS)		%ค่าความคลาดเคลื่อน	
		ด้านร้อน (K)	ด้านเย็น (K)	ด้านร้อน (K)	ด้านเย็น (K)	ด้านร้อน (K)	ด้านเย็น (K)
0.0043 kg/s	313	326.76	310.47	326.32	310.04	0.135	0.137
	323	347.59	322.38	349.12	323.71	0.438	0.411
	333	362.75	330.12	364.92	333.09	0.594	0.891
0.0076 kg/s	313	326.14	309.54	327.34	310.20	0.367	0.212
	323	343.24	317.53	345.73	320.28	0.719	0.857
	333	362.6	328.88	366.14	332.38	0.967	1.052

หมายเหตุ HS = เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Heat Sink)

ผลการศึกษาการทำนายอุณหภูมิที่ออกจากด้านร้อนและด้านเย็น ของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกจากสมการ (4.1) เปรียบเทียบกับผลการทดลองในการอบแห้งใบพลูควา เมื่อกำหนดอัตราการไหลของอากาศในระบบ 0.0043 kg/s และ 0.0076 kg/s ที่สภาวะการทำงานต่างๆของเครื่องแสดงดังตารางที่ 4.6

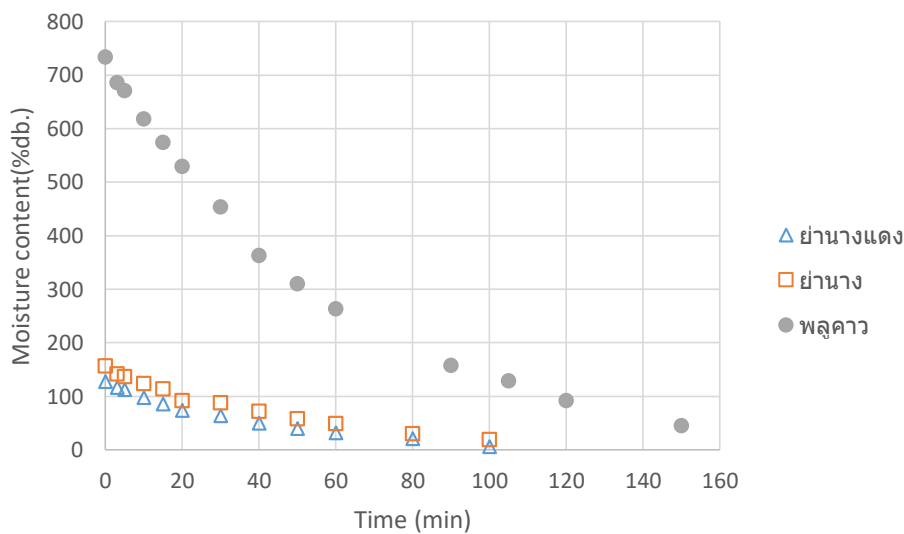
ผลการศึกษาการทำนายอุณหภูมิที่ออกจากด้านร้อนและด้านเย็น ของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกจากสมการ (4.1) เปรียบเทียบกับผลการทดลองในการอบแห้งไอน้ำนางแดง เมื่อกำหนดอัตราการไหลของอากาศในระบบ 0.0043 kg/s และ 0.0076 kg/s ที่สภาวะการทำงานต่างๆของเครื่องแสดงดังตารางที่ 4.7

จาก ตารางที่ 4.6 และ ตารางที่ 4.7 พบว่าในการอบแห้งใบพลูควาและไอน้ำนางแดง เมื่ออุณหภูมิห้องอบเพิ่มขึ้น การทำนายอุณหภูมิที่ออกจากด้านร้อนของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกยังมีแนวโน้มค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นด้วย อาจเป็นผลมาจากในการทดลองเมื่อเทอร์โมอิเล็กทริกได้รับกระแสไฟฟ้าในปริมาณที่มากขึ้น จะมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นมากขึ้นด้วย (เมื่อยิ่งจ่ายกระแสไฟให้เทอร์โมอิเล็กทริกสูง เทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนยิ่งมีอุณหภูมิสูง เทอร์โมอิเล็กทริกด้านเย็นยิ่งมีอุณหภูมิต่ำ) จึงมีการถ่ายเทความร้อนระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นในตัวเทอร์โมอิเล็กทริก

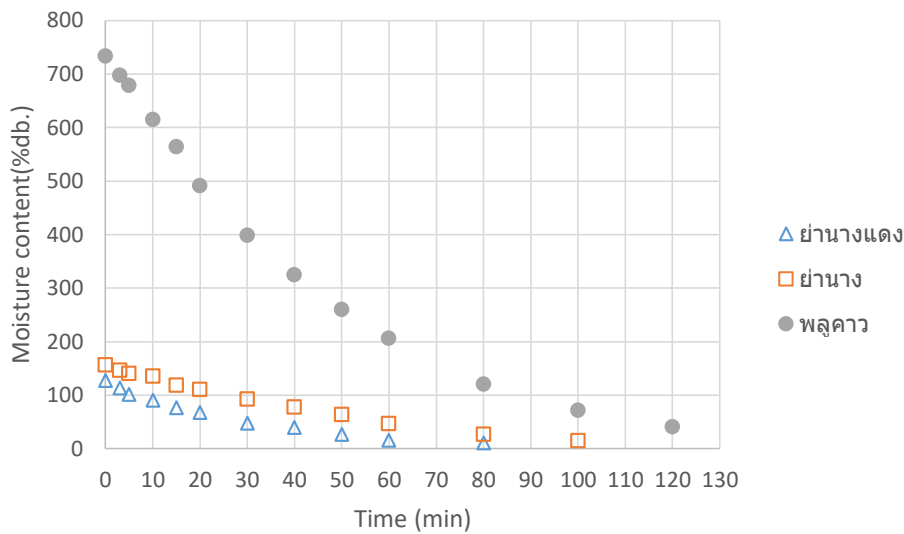
เล็กทริกที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิด้านร้อนมีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าการทำนาย (ซึ่งมีค่าการถ่ายเทความร้อนระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นในตัวเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่ค่อนข้างคงที่) เพิ่มมากขึ้น

4.4 จนพลศาสตร์ของการอบแห้งด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

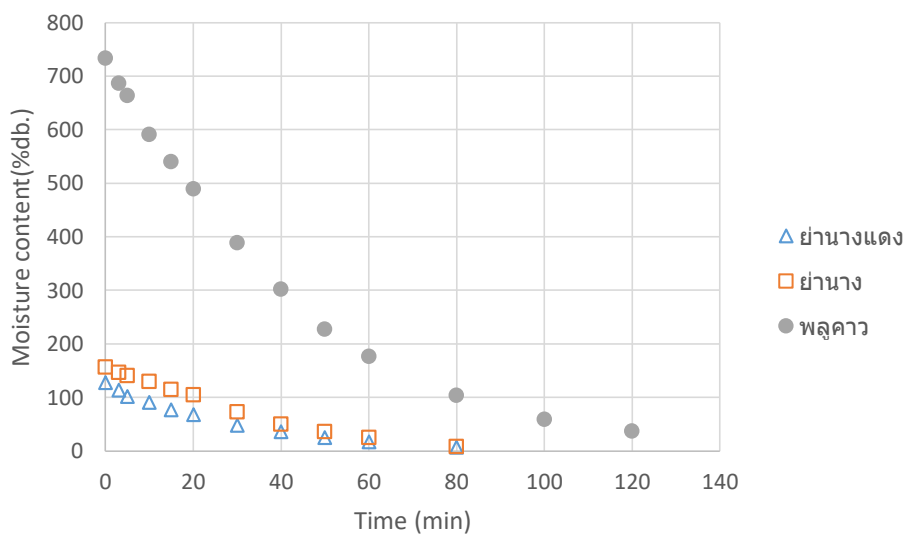
เมื่อนำวัสดุทั้ง 3 ชนิด คือ ไบยานาง ไบยานางแดง และไบพลูคว มาหาความชื้นเริ่มต้นพบว่าไบพลูควมีความชื้นเริ่มต้นมากที่สุด คือ ร้อยละ 88 (มาตรฐานเปียก) รองลงมา คือ ไบยานาง มีความชื้นเริ่มต้น ร้อยละ 61.3 (มาตรฐานเปียก) และสุดท้าย คือ ไบยานางแดง มีความชื้นเริ่มต้นน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 56.7 (มาตรฐานเปียก) เมื่อนำมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก พบว่าสมุนไพรต่างๆ มีพฤติกรรมการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ ดังภาพประกอบที่ 4.4 - ภาพประกอบที่ 4.6



ภาพประกอบที่ 4.4 แสดงพฤติกรรมขณะอบแห้งของสมุนไพรชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 40 °C ความเร็วลมในห้องอบ 0.45 m/s จนเหลือความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 7.5 มาตรฐานแห้ง



ภาพประกอบที่ 4.5 แสดงพฤติกรรมขณะอบแห้งของสมุนไพรชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50°C ความเร็วลมในห้องอบ 0.25 m/s จนเหลือความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 7.5 มาตรฐานแห้ง



ภาพประกอบที่ 4.6 แสดงพฤติกรรมขณะอบแห้งของสมุนไพรชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50°C ความเร็วลมในห้องอบ 0.45 m/s จนเหลือความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 7.5 มาตรฐานแห้ง

ในการอบแห้งสมุนไพรใบพลูควา ใบย่านาง และใบย่านางแดง ที่อุณหภูมิ 40°C ความเร็วลมในห้องอบ 0.45 m/s จนเหลือความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 7.5 มาตรฐานแห้ง พบว่าใบพลูควา ใบ

ย่านาง และใบย่านางแดง ใช้เวลาในการอบแห้งที่สภาวะดังกล่าว 141 100 และ 86 นาที ตามลำดับ ดังภาพประกอบที่ 4.4

ในการอบแห้งสมุนไพรใบพลูควาว ใบย่านาง และใบย่านางแดง ที่อุณหภูมิ 50°C ความเร็วลมในห้องอบ 0.25 m/s จนเหลือความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 7.5 มาตรฐานแห้ง พบว่าใบพลูควาว ใบย่านาง และใบย่านางแดง ใช้เวลาในการอบแห้งที่สภาวะดังกล่าว 110 95 และ 62 นาที ตามลำดับ ดังภาพประกอบที่ 4.5

ในการอบแห้งสมุนไพร ใบพลูควาว ใบย่านาง และใบย่านางแดง ที่อุณหภูมิ 50°C ความเร็วลมในห้องอบ 0.45 m/s จนเหลือความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 7.5 มาตรฐานแห้ง พบว่าใบพลูควาว ใบย่านาง และใบย่านางแดง ใช้เวลาในการอบแห้งที่สภาวะดังกล่าว 101 93 และ 60 นาที ตามลำดับ ดังภาพประกอบที่ 4.6

จากภาพแสดงพฤติกรรมขณะอบแห้งของสมุนไพร ที่สภาวะต่าง ๆ ดังภาพประกอบที่ 4.4 - ภาพประกอบที่ 4.6 ข้างต้น จะเห็นได้ว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งนั้นจะขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของสมุนไพร คือ ยิ่งสมุนไพรมีความชื้นเริ่มต้นมาก ยิ่งใช้เวลาในการอบแห้งในสภาวะต่าง ๆ มาก โดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ ใบพลูควาว ใบย่านาง และใบย่านางแดง ส่วนลักษณะของใบสมุนไพร ได้แก่ ความหนา ความแข็ง เส้นใย ที่สังเกตได้ นอกจากจะส่งผลต่อระยะเวลาการอบแห้งแล้ว ยังส่งผลกับพฤติกรรมขณะอบแห้งด้วย และการอบแห้งจะใช้เวลาในการอบแห้งเร็วขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นหรืออุณหภูมิในการอบเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Vega-Gálvez et al. (2012) ที่ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วลมที่มีผลต่อจลนศาสตร์ของการอบแห้ง และ Tasirin et al. (2014) ทำการศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งใบมะกรูดที่อุณหภูมิคงที่ โดยใช้ความเร็วลมค่าต่างๆ และยังพบอีกว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลผลต่อระยะเวลาการอบแห้งมากกว่าความเร็วลมอย่างมาก Kaya and Aydin (2009) ศึกษาอิทธิพลของความเร็วลม และอุณหภูมิในการอบแห้งใบตำแยฝรั่งและใบมิน



4.5 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้ง

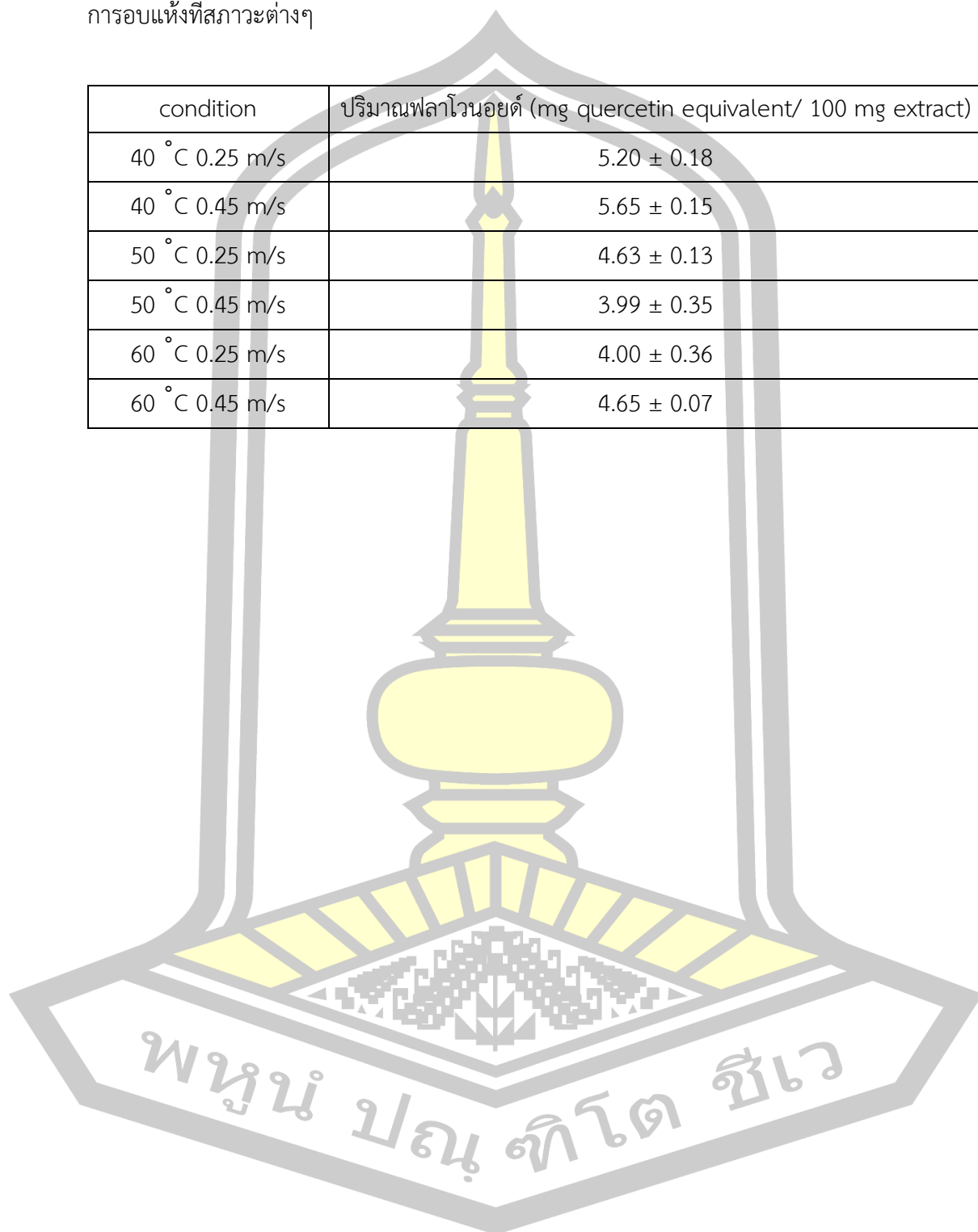
จากการนำใบพลูคาวที่ผ่านการอบแห้งจากเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก ไปทดสอบหาปริมาณฟลาโวนอยด์ (mg quercetin equivalent/ 100 mg extract) และปริมาณฟีนอลิก (mg gallic acid equivalent/ 100 mg extract) แล้วพบว่าใบพลูคาวที่ผ่านการอบแห้งที่สภาวะ 40 °C ความเร็วลมในห้องอบ 0.045 m/s มีปริมาณฟลาโวนอยด์มากที่สุด และมีปริมาณฟีนอลิกมากที่สุด คือ 5.652 mg quercetin equivalent/ 100 mg extract และ 23.014 mg gallic acid equivalent/ 100 mg extract และยังพบอีกว่าปริมาณสารดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะพบมากขึ้นเมื่อใช้การอบที่มีความเร็วลมสูง และอุณหภูมิต่ำ แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารดังกล่าวมีความแปรผันตามความเร็วลมในการอบแห้ง เพราะการอบแห้งที่ความเร็วลมสูงจะใช้ระยะเวลาในการอบสั้นกว่าการอบแห้งที่ความเร็วลมต่ำ และแปรผกผันกับอุณหภูมิในการอบแห้งเนื่องจากสารดังกล่าวมีความไวต่อความร้อนหรืออุณหภูมิสูง ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และ ตารางที่ 4.9 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rayaguru and Routray (2010) ซึ่งทำการศึกษาการอบแห้งเตยหอมแบบชั้นบาง

ตารางที่ 4.8 ปริมาณฟลาโวนอยด์ (mg quercetin equivalent/ 100 mg extract) ในใบพลูคาวที่ผ่านการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ

condition	ปริมาณฟีนอลิก (mg gallic acid equivalent/ 100 mg extract)
40 °C 0.25 m/s	19.41 ± 0.32
40 °C 0.45 m/s	23.01 ± 0.44
50 °C 0.25 m/s	16.51 ± 0.35
50 °C 0.45 m/s	15.06 ± 0.55
60 °C 0.25 m/s	15.30 ± 1.20
60 °C 0.45 m/s	17.99 ± 0.68

ตารางที่ 4.9 ปริมาณฟีนอลิก (mg gallic acid equivalent/ 100 mg extract) ในใบพลูควาวที่ผ่าน การอบแห้งที่สภาวะต่างๆ

condition	ปริมาณฟลาโวนอยด์ (mg quercetin equivalent/ 100 mg extract)
40 °C 0.25 m/s	5.20 ± 0.18
40 °C 0.45 m/s	5.65 ± 0.15
50 °C 0.25 m/s	4.63 ± 0.13
50 °C 0.45 m/s	3.99 ± 0.35
60 °C 0.25 m/s	4.00 ± 0.36
60 °C 0.45 m/s	4.65 ± 0.07



บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาระบบอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งเทอร์โมอิเล็กทริก ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอสรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผล

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1.สภาวะการทำงานที่เหมาะสมของระบบอบแห้งเทอร์โมอิเล็กทริกในการอบแห้งสมุนไพรในงานวิจัยนี้ คือ อุณหภูมิห้องอบ 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศ 0.0076 กิโลกรัมต่อวินาที (ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที) มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ 2.04 0.96 และ 2.15 สำหรับการอบแห้งใบพลูควา ใบย่านาง และใบย่านางแดง ในสภาวะดังกล่าว ตามลำดับ

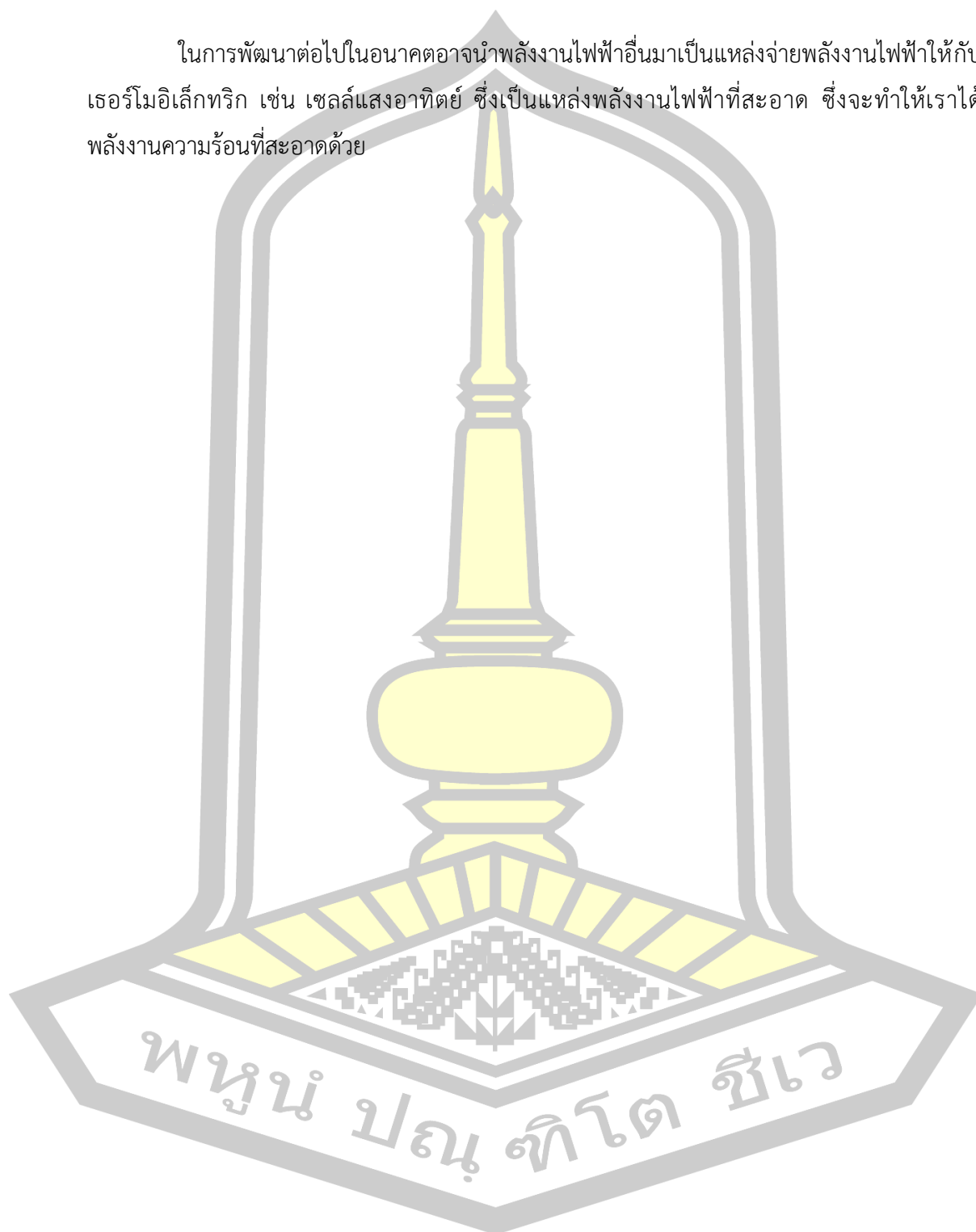
5.1.2. ค่าอุณหภูมิที่ออกจากด้านร้อนและด้านเย็นของชุดเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ได้การทดลองและค่าที่ได้จากการทำนาย 0.350 -1.923 ในการอบแห้งใบพลูควา และ 0.135 – 0.967 ในการอบแห้งใบย่านางแดง

5.1.3. ในการอบแห้งที่สภาวะที่อุณหภูมิห้องอบ 50 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศ 0.0076 กิโลกรัมต่อวินาที (ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที) พบว่าใบพลูควา ใบย่านาง และใบย่านางแดง ใช้ เวลาในการอบแห้งที่สภาวะดังกล่าว 101 93 และ 60 นาที ตามลำดับ และในการอบแห้ง อุณหภูมิของห้องอบแห้งมีอิทธิพลต่อระยะเวลาในการอบแห้งมากกว่าความเร็วลม

5.1.4.ปริมาณสารฟลาโวนอยด์และปริมาณสารฟีนอลิกมีความแปรผันตามความเร็วลม เพราะความเร็วลมในห้องอบที่มากกว่าจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่า และแปรผกผันกับอุณหภูมิ เนื่องจากสารดังกล่าวมีความไวต่ออุณหภูมิ ทำให้เมื่อห้องอบยังมีอุณหภูมิสูงปริมาณสารดังกล่าวจึงยิ่งเหลือน้อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาต่อไปในอนาคตอาจนำพลังงานไฟฟ้าอื่นมาเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่สะอาด ซึ่งจะทำให้เราได้พลังงานความร้อนที่สะอาดด้วย



บรรณานุกรม

- ทงศักดิ์ วัฒนา. 2555. “การเลือกเทคโนโลยีการอบแห้งในอุตสาหกรรมและเพื่อลดต้นทุนการผลิต (ตอนที่ 1).” <http://www.thailandindustry.com>.
- เทวรัตน์ ทิพย์วิมล. 2555. *การคงคุณภาพผักอบแห้งกิ่งสำเร็จรูป ด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบบ่มความร้อน*. จังหวัดนครราชสีมา.
- นพรัตน์ อมัตริรัตน์. 2554. “การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบบ่มความร้อนระหว่างสารทำความเย็น R-22กับCOLD-22.” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- นักสิทธิ์ ปัญญาใหญ่, สุธิดา คำเหมื่อง และ วิภาวรรณ ไชยเทพ. 2554. “การศึกษารูปแบบการอบแห้งสมุนไพรไทยบางชนิด.” *แก่นเกษตร* (39): 488–92.
- ปรีดา ไชยรงค์ศรี. 2556. “การทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริก.” มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- พิระพงศ์ ทีฆสกุล. 2550. *การตากแห้งยางแผ่นดิบที่เหมาะสมต่อการรมควัน โดยใช้พลังงานแสงแสงอาทิตย์*.
- ไพโรจน์ ศิริรัตน์. 2549. “การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบสำหรับกลุ่มเกษตรกร.” มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เมตไทย. 2560. “พลูคาว.” <https://medthai.com/พลูคาว/>.
- สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์. 2554. “เทอร์โมอิเล็กทริก เทคโนโลยีแห่งวันวานที่กำลังถูกจับตา.” *เทคโนโลยีปริโมชั่น* 37(214): 65–68.
- สุนทร สืบคำ and ฤทธิชัย อัครราชันย์. 2554. “แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งสำหรับวัสดุพรม.” *วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย* 17(1): 56–60.
- Bantle, Michael, Timo Käfer, and Trygve M Eikevik. 2013. “Model and Process Simulation of Microwave Assisted Convective Drying of Cliffish.” *Applied Thermal Engineering* 59(1–2): 675–82.
- Chan, E W C et al. 2009. “Effects of Different Drying Methods on the Antioxidant Properties of Leaves and Tea of Ginger Species.” *Food Chemistry* 113(1): 166–72.
- Chiew, K H et al. 2016. “Evaluation of Antiviral Activities of Houttuynia Cordata Thunb. Extract, Quercetin, Quercetrin and Cinanserin on Murine Coronavirus and Dengue Virus Infection.” *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine* 9(1): 1–7.

- Cosnier, Matthieu, Gilles Fraisse, and Lingai Luo. 2008. "An Experimental and Numerical Study of a Thermoelectric Air-Cooling and Air-Heating System." *International Journal of Refrigeration* 31(6): 1051–62.
- Dai, Y J, R Z Wang, and L Ni. 2003. "Experimental Investigation on a Thermoelectric Refrigerator Driven by Solar Cells." *Renewable Energy* 28(6): 949–59.
- Değirmencioglu, Nurcan, Ozan Gürbüz, Emine Nur Herken, and Aysun Yurdunuseven Yildız. 2016. "The Impact of Drying Techniques on Phenolic Compound, Total Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Oat Flour Tarhana." *Food Chemistry* 194: 587–94.
- Dinani, Somayeh Taghian, Nasser Hamdami, Mohammad Shahedi, and Michel Havet. 2014. "Mathematical Modeling of Hot Air/Electrohydrodynamic (EHD) Drying Kinetics of Mushroom Slices." *Energy Conversion and Management* 86: 70–80.
- Fatouh, M, M N Metwally, A B Helali, and M H Shedid. 2006. "Herbs Drying Using a Heat Pump Dryer." *Energy Conversion and Management* 47(15): 2629–43.
- Foodnetworksolution. 2016. "ชาสมุนไพร." <http://www.foodnetworksolution.com>.
- Hii, C. L., C. L. Law, and M. C. Law. 2013. "Simulation of Heat and Mass Transfer of Cocoa Beans under Stepwise Drying Conditions in a Heat Pump Dryer." *Applied Thermal Engineering* 54(1): 264–71.
- Hossain, Mohammed Ayub, C Barry-Ryan, AB Martin-Diana, and NP Brunton. 2010. "Effect of Drying Method on the Antioxidant Capacity of Six Lamiaceae Herbs." *Food Chemistry* 123(1): 85–91.
- Hossain, Mohammed Ayub, Klaus Gottschalk, and Mohammad Shoeb Hassan. 2013. "Mathematical Model for a Heat Pump Dryer for Aromatic Plant." *Procedia Engineering* 56: 510–20.
- Igual, M, E Garcia-Martínez, M E Martín-Esparza, and N Martínez-Navarrete. 2012. "Effect of Processing on the Drying Kinetics and Functional Value of Dried Apricot." *Food Research International* 47(2): 284–90.
- Junior, C, G Chen, and J Koehler. 2012. "Modeling of a New Recuperative Thermoelectric Cycle for a Tumble Dryer." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55(5–6): 1536–43.

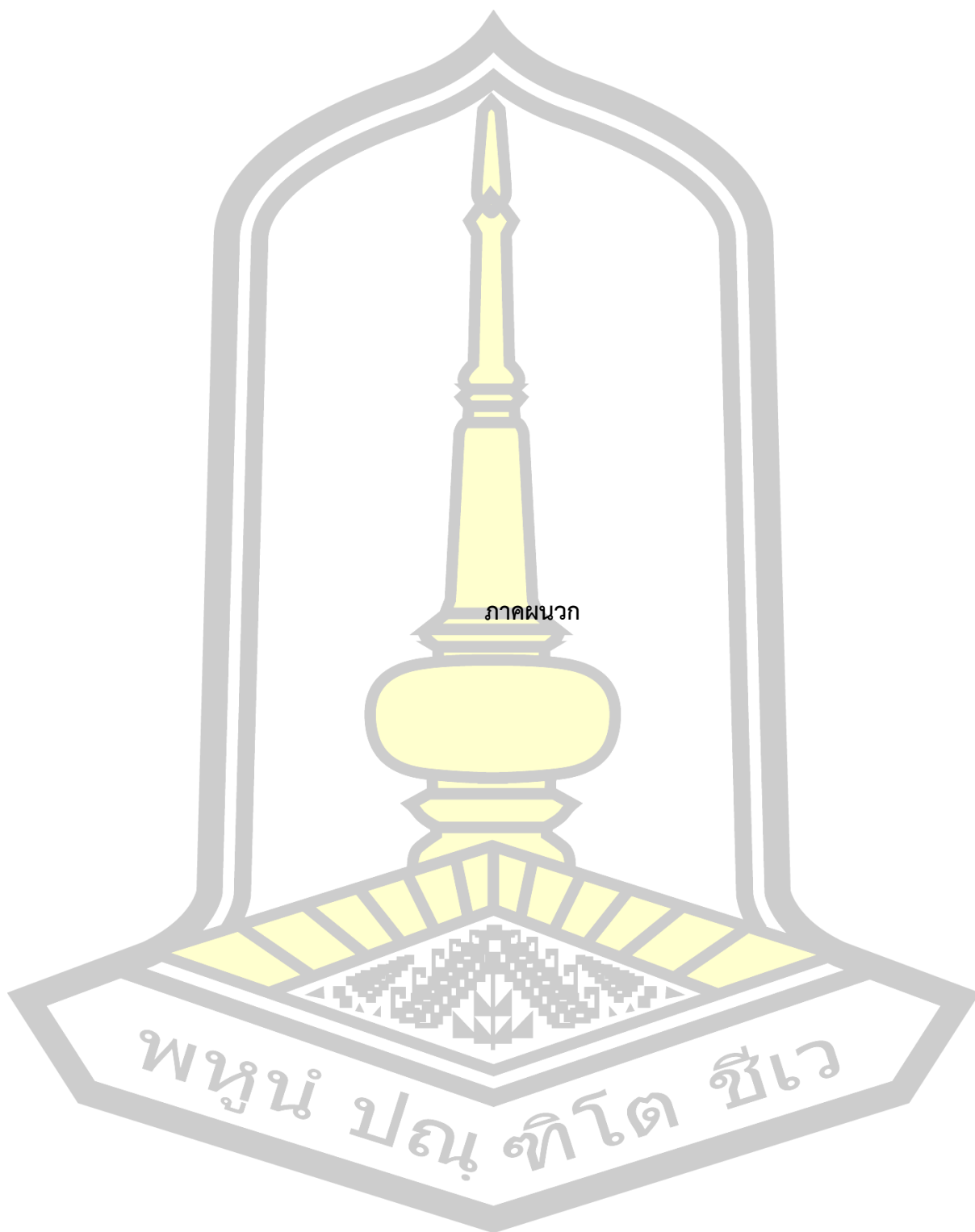
- Kaya, Ahmet, and Orhan Aydın. 2009. "An Experimental Study on Drying Kinetics of Some Herbal Leaves." *Energy Conversion and Management* 50(1): 118–24.
- Kim, Y. W. et al. 2014. "Optimal Sizing of a Thermoelectric Heat Pump (THP) for Heating Energy-Efficient Buildings." *Energy and Buildings* 70: 106–16.
- Lee, G, and F Hsieh. 2008. "Thin-Layer Drying Kinetics of Strawberry Fruit Leather." *Transactions of the ASABE* 51(5): 1699–1705.
- Lertsatitthanakorn, Charoenporn, Lamul Wiset, and Surat Atthajariyakul. 2009. "Evaluation of the Thermal Comfort of a Thermoelectric Ceiling Cooling Panel (TE-CCP) System." *Journal of Electronic Materials* 38(7): 1472–77.
- Lin, Dongzhi et al. 2006. "Natural Herbicidal Potential of Saururaceae (Houttuynia Cordata Thunb) Dried Powders on Paddy Weeds in Transplanted Rice." *Crop Protection* 25(10): 1126–29.
- Liu, Di, Fu-Yun Zhao, and Guang-Fa Tang. 2008. "Modeling and Performance Investigation of a Closed-Type Thermoelectric Clothes Dryer." *Drying Technology* 26(10): 1208–16.
- Luo, Qinghai, Gangfa Tang, Zhiqiang Liu, and Jingwei Wang. 2005. "A Novel Water Heater Integrating Thermoelectric Heat Pump with Separating Thermosiphon." *Applied Thermal Engineering* 25(14): 2193–2203.
- Orikasa, Takahiro et al. 2014. "Impacts of Hot Air and Vacuum Drying on the Quality Attributes of Kiwifruit Slices." *Journal of Food Engineering* 125: 51–58.
- Park, Kil Jin, Zdenka Vohnikova, and Fernando Pedro Reis Brod. 2002. "Evaluation of Drying Parameters and Desorption Isotherms of Garden Mint Leaves (*Mentha Crispa* L.)." *Journal of Food Engineering* 51(3): 193–99.
- Phadungkit, M. 2012. "Phytochemical Screening, Antioxidant and Antimutagenic Activities of Selected Thai Edible Plant Extracts." *Journal of Medicinal Plants Research* 6(5): 662–66.
- Process-heating. 2014. "The Drying Curve Part 1 2002 09 01 Process Heating."
- Ramousse, Julien, Damien Sgorlon, Gilles Fraise, and Maxime Perier-Muzet. 2015. "Analytical Optimal Design of Thermoelectric Heat Pumps." *Applied Thermal Engineering* 82: 48–56.
- Riffat, S B, Xiaoli Ma, and Robin Wilson. 2006. "Performance Simulation and

- Experimental Testing of a Novel Thermoelectric Heat Pump System.” *Applied Thermal Engineering* 26(5): 494–501.
- Samoticha, Justyna, Aneta Wojdyło, and Krzysztof Lech. 2016. “The Influence of Different the Drying Methods on Chemical Composition and Antioxidant Activity in Chokeberries.” *LWT - Food Science and Technology* 66: 484–89.
- Santacatalina, J V et al. 2016. “Impact of Applied Ultrasonic Power on the Low Temperature Drying of Apple.” *Ultrasonics Sonochemistry* 28: 100–109.
- Singthong, Jitra, Suwayd Ningsanond, and Steve W Cui. 2009. “Extraction and Physicochemical Characterisation of Polysaccharide Gum from Yanang (Tiliacora Triandra) Leaves.” *Food Chemistry* 114(4): 1301–7.
- Siviter, J, A Montecucco, and A R Knox. 2015. “Rankine Cycle Efficiency Gain Using Thermoelectric Heat Pumps.” *Applied Energy* 140: 161–70.
- Sureram, Sanya et al. 2012. “Antimycobacterial Activity of Bisbenzylisoquinoline Alkaloids from Tiliacora Triandra against Multidrug-Resistant Isolates of Mycobacterium Tuberculosis.” *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters* 22(8): 2902–5.
- Tasirin, S M et al. 2014. “Drying of Kaffir Lime Leaves in a Fluidized Bed Dryer with Inert Particles: Kinetics and Quality Determination.” *Industrial Crops and Products* 61: 193–201.
- Thailandindustry. 2016. “ค่าความชื้นหรือน้ำในผลิตภัณฑ์.”
http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/index.php.
- Vega-Gálvez, Antonio et al. 2012. “Effect of Temperature and Air Velocity on Drying Kinetics, Antioxidant Capacity, Total Phenolic Content, Colour, Texture and Microstructure of Apple (Var. Granny Smith) Slices.” *Food Chemistry* 132(1): 51–59.
- Waewsak, J, S Chindaruksa, and C Punlek. 2006. “A Mathematical Modeling Study of Hot Air Drying for Some Agricultural Products.” *Thammasat International Journal of Science and Technology* 11(1): 14–20.
- Xu, Xueqin et al. 2006. “Determination of Flavonoids in Houttuynia Cordata Thunb. and Saururus Chinensis (Lour.) Bail. by Capillary Electrophoresis with Electrochemical Detection.” *Talanta* 68(3): 759–64.

Yang, Xiaoxi, Wei Xu, Jing Ding, and Yi Zhao. 2006. "Theoretical and Experimental Studies on Low-Temperature Adsorption Drying of Fresh Ginger." *Journal of Thermal Science* 15(1): 71–78.

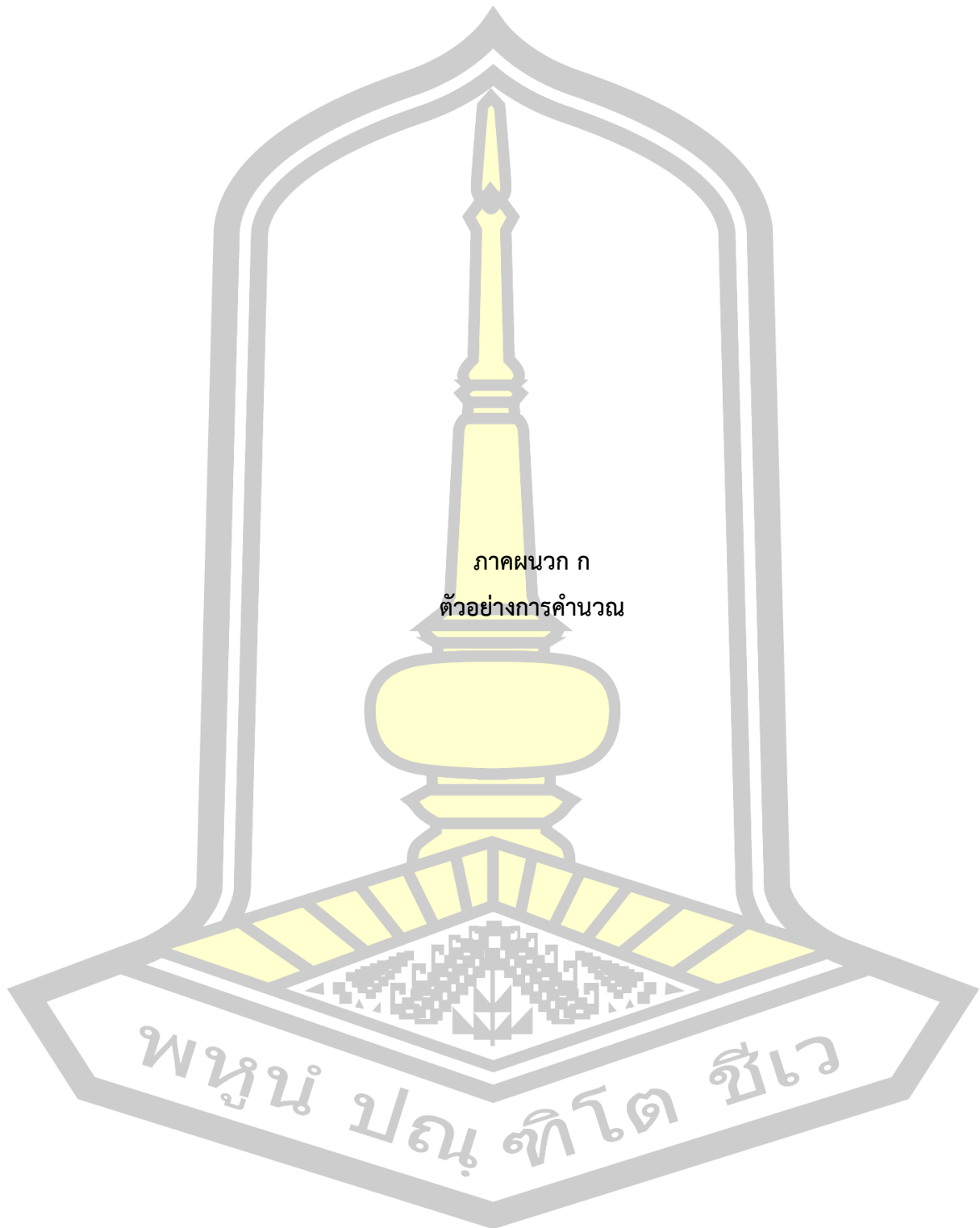
Zhang, Ying, Shu-fen Li, and Xi-wen Wu. 2008. "Pressurized Liquid Extraction of Flavonoids from *Houttuynia Cordata* Thunb." *Separation and Purification Technology* 58(3): 305–10.





ภาคผนวก

พูน ปณ ทิโต ชีเว



ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการคำนวณ

พหุบัน ปณฺ ทิโต ชีเว

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat transfer coefficient, h)

- โดยที่
- Re_D = ความเร็วลมที่ผ่านครีบ * D_h / ν (Reynold number)
 - D_h = ใช้ D_h แทน D ถ้าไม่ใช่ท่อกลม $D_h = 4 A_c / p$
 - A_c = พท.หน้าตัดท่อ (m^2),
 - P = เส้นรอบรูป (m)
 - L = ความยาวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (ความยาวครีบ) = 0.025m
 - Pr = Prandtl Number (เปิดตาราง)
 - ν = kinematic viscosity (m^2 / s) (เปิดตาราง)
 - k = Thermal Conductivity (W/m-K) (เปิดตาราง)

เมื่อห้องอบแห้งมีอุณหภูมิ 40 °C ความเร็วลม 0.25 m/s อุณหภูมิเฉลี่ยด้านร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน คือ 317 K (อุณหภูมิที่ใช้ในการเปิดตาราง) จะได้

$$Pr = 0.705$$

$$\nu = 17.60 \times 10^{-6} m^2 / s$$

$$k = 0.028 W/mK$$

$$D_h = (4 \times 0.016 \times 0.00273) / (2 \times (0.016 + 0.00273)) m$$

$$= 0.004664 m$$

$$Re_D = (9.33 m/s \times 0.004664 m) / 17.60 \times 10^{-6} m^2/s$$

= 2472.515 (2300 < Re < 10,000 เป็นการไหลแบบ Transition) (Hagen, 1999) (ความเร็วลมผ่านครีบ 9.33 m/s)

สมมุติให้เป็นการไหลในท่อเรียบ มีการถ่ายเทความร้อนสม่ำเสมอในทุกทิศทาง

$$\text{เมื่อ } 0.6 < Pr < 2000, \quad Re_D > 2300$$

จะได้ว่า

$$Nu = \left[\left(\frac{f}{8} \right) (Re - 1000) Pr \right] / \left(1 + \left(12.7 \left(\frac{f}{8} \right)^{1/2} (Pr^{2/3} - 1) \right) \right) * \left(1 + \left(\frac{D}{L} \right)^{2/3} \right) \quad (1)$$

$$f = 0.25 / (\log(5.74 / Re^{0.9}))^2 \quad (2)$$

แทนค่าต่างๆใน สมการ (1) และ (2)

$$\text{จะได้ } f = 0.047$$

$$\text{Nu} = 8.827$$

$$h = \text{Nu} \cdot k / D_h$$

$$= 46.243 \text{ W/m}^2\text{C}$$

สมการต่างๆ ได้จากหนังสือ Heat Transfer with Application (Hagen, 1999)

การคำนวณค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน ด้านร้อน และด้านเย็น ของTE

$$Q_h = \dot{V}_{\text{air}} \rho_{\text{air}} C_{p,\text{air}} (T_{\text{hot,out}} - T_{\text{hot,in}})$$

\dot{Q}_h คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อน (W)

\dot{V}_{air} คือ อัตราการไหลของอากาศ (m^3/s)

ρ_{air} คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

$C_{p,\text{air}}$ คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$)

$T_{\text{hot,out}}$ คือ อุณหภูมิขาออกด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

$T_{\text{hot,in}}$ คือ อุณหภูมิขาเข้าด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

เมื่อห้องอบแห้งใบพลูความมีอุณหภูมิ 40°C ความเร็วลม 0.25 m/s (ความเร็วลมผ่านครึ่ง
 3.43 m/s)

$$\begin{aligned} Q_h &= 3.43 \text{ m/s} \times 0.057 \text{ m} \times 0.021 \text{ m} \times 1.092 \text{ kg/m}^3 \times 1.007 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times \\ &1000 \times (51.02 - 33.39)^\circ\text{C} \\ &= 76.47 \text{ J/s} \end{aligned}$$

พหุ ประถมศึกษา

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ(Coefficient of Performance)

$$\text{COP} = \frac{Q_h}{P}$$

เมื่อ COP คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบฮีโรโมอีเล็กทริก
 Q_h คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)
 P คือ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮีโรโมอีเล็กทริกและพัดลม (W)

เมื่อห้องอบแห้งมีอุณหภูมิ 40 °C ความเร็วลม 0.25 m/s (ความเร็วลมผ่านครีป 3.43m/s)

$$\text{COP} = \frac{Q_h}{P}$$

$$= 76.47 \text{ W} / 56.78 \text{ W} = 1.35$$

การคำนวณค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ(Specific energy consumption)

$$\text{SEC} = \frac{3.6 P_e}{W_i - W_f}, \text{ MJ/kg water evap.}$$

เมื่อ W_i คือ มวลวัสดุก่อนอบแห้ง (kg)
 W_f คือ มวลวัสดุหลังอบแห้ง (kg)
 P_e คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)

เมื่อห้องอบแห้งใบพลูความีอุณหภูมิ 40 °C ความเร็วลม 0.25 m/s (ความเร็วลมผ่านครีป 3.43m/s)

$$\begin{aligned} \text{SEC} &= (3.6 \times 163.72 \text{ Wh}) / 32.79 \text{ kg} \\ &= 17.98 \text{ MJ} / \text{kg water evap.} \end{aligned}$$

อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction rate, SMER)

$$\text{SMER} = \frac{W_i - W_f}{P_e}, \text{ kg water evap./ kWh}$$

เมื่อ W_i คือ มวลวัสดุก่อนอบแห้ง (kg)
 W_f คือ มวลวัสดุหลังอบแห้ง (kg)
 P_e คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)

เมื่อห้องอบแห้งใบพลูความชื้นอุณหภูมิตั้งที่ 40 °C ความเร็วลม 0.25 m/s (ความเร็วลมผ่านครีบบน 3.43m/s)

$$\begin{aligned} \text{SMER} &= 32.79 \text{ kg} / 17.98 \\ &= 0.2 \text{ kg water evap./ kWh} \end{aligned}$$

การคำนวณการทำนายอุณหภูมิที่ออกจากด้านร้อนและด้านเย็นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เมื่อห้องอบแห้งใบพลูความชื้นอุณหภูมิตั้งที่ 40 °C ความเร็วลม 0.25 m/s (ความเร็วลมผ่านครีบบน 3.43m/s)

การทำนายอุณหภูมิที่ออกจากด้านร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

จากสมการ
$$\frac{T_{hao} - T_h}{T_{hai} - T_h} = \exp\left(\frac{-A_s h_{hot}}{\dot{m} C_{p,hot}}\right)$$

เมื่อ T_h, T_c คือ อุณหภูมิเรอริโมอีเล็กทริกด้านร้อนและด้านเย็นตามลำดับ (K)

T_{hao}, T_{cao} คือ อุณหภูมิที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของเรอริโมอีเล็กทริกด้านร้อนและด้านเย็นตามลำดับ (K)

T_{hai}, T_{cai} คือ อุณหภูมิที่เข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของเรอริโมอีเล็กทริกด้านร้อนและด้านเย็นตามลำดับ (K)

A_s คือ พื้นที่ผิวของครีบบน (m²)

h_{hot}, h_{cold} คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้านร้อนและด้านเย็น (W/m^2K)

\dot{m} คือ อัตราการไหลอากาศเชิงมวลด้านร้อนและด้านเย็น (kg/s)

$C_{P_{hot}}, C_{P_{cold}}$ คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศด้านร้อนและด้านเย็น ($J/kg K$)

และเมื่อ

$$T_h = 61.85 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{เป็นค่าที่ได้จากการวัด})$$

$$T_{hai} = 33.93 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{เป็นค่าที่ได้จากการวัด})$$

$$A_s = 0.10233 \text{ m}^2$$

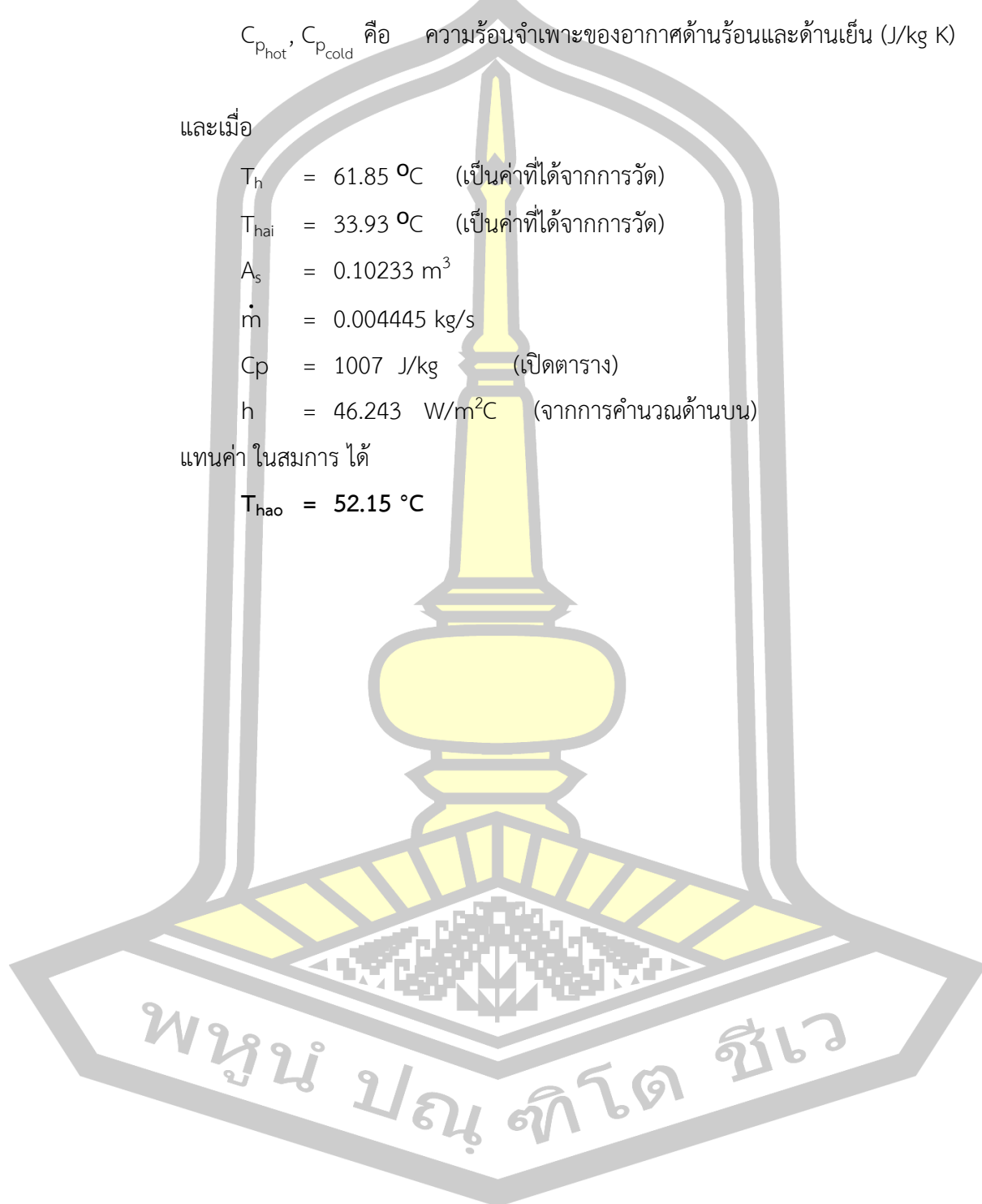
$$\dot{m} = 0.004445 \text{ kg/s}$$

$$C_p = 1007 \text{ J/kg} \quad (\text{เปิดตาราง})$$

$$h = 46.243 \text{ W/m}^2\text{C} \quad (\text{จากการคำนวณด้านบน})$$

แทนค่าในสมการ ได้

$$T_{hao} = 52.15 \text{ } ^\circ\text{C}$$





ตารางในภาคผนวก ข แสดงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกในระหว่างการอบแห้งไย่านาง ที่สภาวะต่างดังนี้

ตารางที่ ข.1 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย TE (°C)		อุณหภูมิ เข้า HS ด้านเย็น (°C)	อุณหภูมิ เข้า HS ด้านร้อน (°C)	อุณหภูมิ ออก HS ด้าน ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ห้องอบ (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ ในท่อ %RH
	ด้านร้อน	ด้านเย็น						
0	83.32	32.06	38.3	46.6	60.8	40.2	24.6	27.5
3	83.02	41.48	40.6	52.1	68	41.75	24.7	26.8
5	75.86	40.52	41.4	50.1	64	41.8	24.5	24.1
10	68.44	39.08	42.1	47.6	59.7	42.7	24.4	23.4
15	64.34	36.2	41.3	44.6	55.7	41.4	24.2	22.8
20	62.3	34.46	40.2	42.8	53.4	41	24.2	22.3
30	61.54	33.8	40	42.1	52.7	41.3	25.1	25.5
40	61.6	33.86	39.9	48.9	52.7	42.25	24.5	23
50	61.72	33.96	40.2	49.1	52.9	42.7	25	24.4
60	61.66	33.92	40.2	49.1	52.8	41.95	24.4	21.1
80	62.48	34.78	41.1	50	53.7	42.9	24.5	19.8
100	63	35.34	41.7	50.4	54.2	43.85	25.2	19.2
120	63.2	35.48	41.8	50.6	54.3	43.5	24.1	15.5
150	63.76	36.24	42.5	51.2	55.1	45.5	25.5	18.6
180	64.82	37.32	43.8	52.6	56.3	47.35	27.8	24.8
210	71.82	38.32	44.9	56.7	60.3	48.7	26.8	19.7

หมายเหตุ HS คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้า

พูน ปณ ทิโต ชเว

ตารางที่ ข.2 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย TE (°C)		อุณหภูมิ เข้า HS ด้านเย็น	อุณหภูมิ เข้า HS ด้านร้อน	อุณหภูมิ ออก HS ด้าน ร้อน	อุณหภูมิ ห้องอบ	อุณหภูมิห้อง	ความชื้น สัมพัทธ์ ในท่อ
	ด้านร้อน	ด้านเย็น	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	%RH
0	63.48	35.44	41.9	51.3	53.5	44.35	24.2	21.3
3	62.8	34.24	39.2	50.7	52.9	40.8	23.9	23.3
5	62.26	33.54	38.5	49.8	52.6	40.1	24.8	24.9
10	61.4	33.08	39.1	49.2	51.9	41.55	24.8	25.7
15	61.4	33.08	39	49.1	51.7	41.6	24.5	24.4
20	62.1	33.94	40	49.9	52.5	41.9	27.2	29.8
30	62.14	33.98	40	50	52.6	42.5	28.2	30.4
40	63.02	34.86	41.1	50.8	53.5	43.9	28.7	29.6
50	63.84	35.68	41.7	51.6	54.3	44.05	26.4	26.9
60	63.72	35.6	41.5	51.5	54.2	44.9	25.5	22.7
80	63.6	35.38	41.5	51.3	54	43.8	24.4	17.5
100	63.6	35.38	41.5	51.3	54	43.8	24.4	19
120	63.76	35.6	41.7	51.5	54.2	44.4	24.9	15.8
150	63.92	35.72	41.7	51.6	54.2	44.05	24.2	15.5
180	64.3	36.02	42	51.9	54.6	44.15	24.2	21.8
210	64.94	36.84	42.8	52.5	55.3	45.05	26.4	21.1

หมายเหตุ HS คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้า



ตารางที่ ข.3 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย TE (°C)		อุณหภูมิ เข้า HS ด้านเย็น	อุณหภูมิ เข้า HS ด้านร้อน	อุณหภูมิ ออก HS ด้าน ร้อน	อุณหภูมิ ห้องอบ	อุณหภูมิห้อง	ความชื้น สัมพัทธ์ ในท่อ
	ด้านร้อน	ด้านเย็น	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	%RH
0	89.96	49.74	53.2	0	76.1	56.55	25	12.1
3	88.86	48.16	49.8	0	74.9	48.8	24.9	14
5	89.4	45.98	48.9	0	73.8	47.9	24.8	14.9
10	94.94	48.54	50.1	0	78.2	49.45	24.8	13.8
15	96.02	49.9	51.5	0	79.5	50.85	25.5	13.2
20	96.56	50.54	52	66.5	80	51.65	25.1	12.4
30	98.16	52.24	53.5	68.5	81.6	53.9	25.5	11
40	99.56	53.72	54.7	66.1	82.8	54.4	25.2	9.9
50	99.72	54	54.7	66.4	83.1	54.85	25.3	9.5
60	99.58	53.76	54.5	66.2	83	55	25.2	9.2
80	101.1	55.34	56.1	67.8	84.6	57.2	25.2	7.5
100	101.78	56.18	56.9	68.6	85.4	58.15	25	6.6
120	93.54	52.62	54.7	64.6	78.9	55.95	24.8	6.7
150	92.52	51.54	54.1	63.6	77.8	55.7	24.8	7
180	91.86	50.88	53.4	62.9	77.1	55.45	24.9	7.2

หมายเหตุ HS คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้า



ตารางที่ ข.4 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย TE (°C)		อุณหภูมิ เข้า HS ด้านเย็น	อุณหภูมิ เข้า HS ด้านร้อน	อุณหภูมิ ออก HS ด้าน ร้อน	อุณหภูมิ ห้องอบ	อุณหภูมิห้อง	ความชื้น สัมพัทธ์ ในท่อ
	ด้านร้อน	ด้านเย็น	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	%RH
0	102.28	50.52	49.5	82.8	85.3	47.55	25.7	22.1
3	-	-	-	-	-	-	-	21.4
5	-	-	-	-	-	-	-	20.7
10	-	-	-	-	-	-	-	17.4
15	-	-	-	-	-	-	-	16.9
20	103.2	51.9	52.3	82.4	84.3	48.75	25.8	16.7
30	106.06	54.88	54.8	85.4	87.2	52.5	24.7	12.3
40	106.02	54.88	54.9	85.4	87.2	53.6	24.8	12.4
50	105.92	54.8	55.1	85.5	87	53.35	25.2	12
60	99.64	54.54	55.3	81.6	83.5	53.65	24.6	9.6
80	98.2	52.82	55	80.2	81.8	54.65	26.2	11.2
100	89.22	49.2	52.4	73.6	75.5	55.8	26	13.3
120	86.6	46.62	50.6	71	72.8	54.25	24.8	14
150	86.48	46.64	50.9	71	72.7	53.85	26.6	14.9

หมายเหตุ HS คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้า





ตารางในภาคผนวก ค แสดงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกในระหว่างการอบแห้งใบพลูควาว ที่สภาวะต่างดังนี้

ตารางที่ ค.1 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาท)	อุณหภูมิเฉลี่ย TE (°C)		อุณหภูมิ เข้า HS ด้านเย็น (°C)	อุณหภูมิ เข้า HS ด้านร้อน (°C)	อุณหภูมิ ออก HS ด้าน ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ห้องอบ (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ ในท่อ %RH
	ด้านร้อน	ด้านเย็น						
0	62.68	31.6	39.6	34.6	49.5	40.4	25.7	-
1	63.36	31.92	38.1	34.4	50	38.2	25.8	-
2	63.76	32.12	38.3	34.6	50.4	38.5	25.8	-
3	63.96	32.4	38.6	34.8	50.9	39.2	25.9	-
5	66.2	32	38.6	34.8	51.6	39.7	25.9	-
10	65.92	34.08	39.9	36.2	52.9	41.2	25.9	-
15	66.56	34.92	41	37.1	53.7	42.4	25.9	-
20	67.06	35.38	41.5	37.6	54.2	43	25.8	-
30	68.12	36.46	42.5	38.6	55.3	44.5	26	-
40	62.04	36.22	42.1	38.4	52.1	43.6	25.8	-
50	60.88	35.18	41.8	37.7	51.1	43.3	27	-
60	60.5	34.84	41.5	37.4	50.6	42.7	26.8	-
80	60.92	35.42	42.1	38	51.3	43.8	27.7	-
100	58.64	35.9	42.2	38.2	50.1	43.9	26.5	-
120	57.36	34.64	41.5	37.3	48.9	40.8	26.5	-
150	57.66	35.08	41.7	37.5	49.2	42.4	27.1	-
180	57.58	35.38	42.1	37.8	49.4	41.1	27.9	-
210	57.84	35.78	42.4	38	49.6	43.2	27.5	-
240	57.94	35.94	42.4	38.1	49.7	43.8	27.2	-
270	58.02	36.1	42.5	38.3	49.8	44	27.2	-

หมายเหตุ HS คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ตารางที่ ค.2 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย TE (°C)		อุณหภูมิ เข้า HS ด้านเย็น (°C)	อุณหภูมิ เข้า HS ด้านร้อน (°C)	อุณหภูมิ ออก HS ด้าน ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ห้องอบ (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ ในท่อ %RH
	ด้านร้อน	ด้านเย็น						
0	68.46	37.44	44.5	40.2	55.7	45.95	26.3	17.6
1	68.6	37.16	41.8	38.7	55.6	41.75	26.4	24.1
2	68.12	36.68	41.6	37.1	55.3	41.3	26.4	27.1
3	67.8	36.4	41.7	34.9	55	41.45	26.5	27.9
5	67.04	35.7	41.2	36.5	54.3	41.25	26.3	28.3
10	66.52	35.4	41.6	38.7	53.9	41.7	26	27.4
15	66.36	35.14	41.5	37.1	53.7	41.65	26.1	26.7
20	66.38	35.2	41.5	34.9	53.6	41.85	26.2	26
30	67.12	36.1	42.4	36.5	54.4	42.9	26.1	24
40	64.275	35.96	42.5	38.7	52.9	43.05	25.9	22.6
50	64.22	35.92	42.5	37.1	52.9	43.1	26.3	21.5
60	60.8	35.36	42	34.9	50.7	42.2	25.9	21
90	60.74	35.56	42.3	36.5	50.9	43	26	20.8
105	60.64	35.42	42.3	38.7	50.7	43	26.5	21.6
120	60.82	35.78	42.5	37.1	51.1	43.4	26.1	21.1
150	61.2	36.5	43	34.9	51.6	44.1	25.6	18.8
180	61.08	36.26	43.2	38.7	51.5	44.2	26.1	19
210	56.64	34.56	41.2	37.1	48.1	41.95	26.8	22.5
240	55.2	32.78	38.2	34.9	47	40.4	26.5	24
270	55.94	34.06	40.6	36.5	47.4	41.1	26.2	25.8

หมายเหตุ HS คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ตารางที่ ค.3 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย TE (°C)		อุณหภูมิ เข้า HS ด้านเย็น (°C)	อุณหภูมิ เข้า HS ด้านร้อน (°C)	อุณหภูมิ ออก HS ด้าน ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ห้องอบ (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ ในท่อ %RH
	ด้านร้อน	ด้านเย็น						
0	97.8	53.56	56.4	53.4	78.5	60.85	27.5	15.1
1	97.82	52.94	52.6	49.6	77.8	50.55	27.8	20.7
2	97.72	52.84	52.5	49.5	77.7	50.2	27.8	23.8
3	97.14	52.24	52.3	49.3	77.3	50.95	28.1	25.5
5	96.84	50.88	51	48	76.2	50.9	28.6	27.3
10	96.04	50.32	51.6	48.6	75.6	51.2	27.5	28.6
15	95.9	50.48	51.9	48.9	75.7	51.75	28.6	26
20	96.32	50.92	52.6	49.6	76.2	52.35	27.3	23.8
30	97.82	52.56	54.2	51.2	77.7	54.2	27.7	0
40	97.32	52.28	54.2	51.2	77.1	54.35	28.8	22.9
50	82.56	49.24	52.1	49.1	69.4	53.95	28	21.8
60	76.48	44.44	49.5	46.5	63.4	50.85	28.1	21
80	83.16	45.34	50.1	47.1	67.1	52	27.5	20
100	85.4	47.34	52	49	69.4	53.8	27.8	17.6
120	83.04	47.76	52.7	49.7	68.7	54.95	27.8	17.7
150	82.7	47.62	52.6	49.6	68.3	54.05	28.4	19.2
180	82.36	47.52	52.7	49.7	68.2	55	28.2	18.7

หมายเหตุ HS คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหลี่ยมพื้นผ้า



ตารางที่ ค.4 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย TE (°C)		อุณหภูมิ เข้า HS ด้านเย็น	อุณหภูมิ เข้า HS ด้านร้อน	อุณหภูมิ ออก HS ด้าน ร้อน	อุณหภูมิ ห้องอบ	อุณหภูมิห้อง	ความชื้น สัมพัทธ์ ในท่อ
	ด้านร้อน	ด้านเย็น	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	%RH
0	91.78	47.72	49.5	45.5	72.2	49.2	27.5	16.9
1	91.44	47.32	49.2	45.2	72.1	48.1	27.5	22.4
2	91.06	46.92	49.3	45.3	71.8	48.85	27.2	23.5
3	90.84	46.76	49.3	45.3	71.6	49.1	27.1	23.5
5	89.76	45.7	48	44	70.6	48.25	28	26
10	89.54	45.98	49.7	45.7	70.7	50.35	27.5	23.4
15	90.02	46.26	50	46	71	50.5	28.6	24.5
20	90.42	46.66	50.4	46.4	71.6	51.35	27.5	21.8
30	91.62	48	51.9	47.9	72.9	52.7	27.8	19.9
40	92.74	49.16	53	49	73.9	54.1	29.1	19.8
50	80.74	45.66	50.9	46.9	66.3	51.95	27	17.6
60	78.84	44	49.7	45.7	64.5	50.6	27.3	18.1
80	78.28	43.66	49.5	45.5	63.9	50.6	27.2	17.8
100	78.3	43.98	49.8	45.8	64	50.8	28	16.8
120	78.86	44.74	50.4	46.4	64.7	51.75	28.1	16.7
150	79.82	45.6	51.6	47.6	65.8	52.75	29.5	19.6
180	79.26	45.18	50.8	46.8	65.2	52.3	26.6	12.8

หมายเหตุ HS คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสลับพื้นผิว

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ

ตารางที่ ค.5 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย TE (°C)		อุณหภูมิ เข้า HS ด้านเย็น (°C)	อุณหภูมิ เข้า HS ด้านร้อน (°C)	อุณหภูมิ ออก HS ด้าน ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ห้องอบ (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ ในท่อ %RH
	ด้านร้อน	ด้านเย็น						
0	109.04	60.32	58.7	59.2	87.1	58.95	29.2	13.7
1	108.78	59.92	57.9	58.7	86.8	55.95	29.1	15.8
2	108.28	59.18	57.3	58.2	86.1	54.35	28.7	18.1
3	107.86	58.78	57.1	57.7	85.7	54.25	28.5	18.8
5	105.92	57.38	55.4	56.8	83.9	53.75	28.1	0
10	108.6	56.76	55.5	55.6	85	55.35	28.4	20.7
15	108.88	57.04	56.1	55.9	85.1	55.3	28.1	19.6
20	108.36	56.38	55.1	55.3	84.7	58.45	27.7	19.3
30	109.74	57.98	57.3	56.8	86.2	61.05	27.8	17
40	108.76	57.04	56.7	56.1	85.4	57.5	27.3	15.2
50	110.64	59.02	58.7	58	87.2	58.35	28.3	14
60	111.1	59.4	59.1	58.4	87.6	60.65	27.5	11.7
80	115.34	63.84	63.3	62.7	92.3	64.3	27.1	8
100	117.44	66.08	65.5	64.8	94.6	64.55	27.4	6.8
120	117.52	66.14	65.5	64.9	94.7	66.2	28	6.9
150	119	67.58	66.7	66.2	96	67.55	27.2	5.7

หมายเหตุ HS คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหลี่ยมพื้นผ้า



ตารางที่ ค.6 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย TE (°C)		อุณหภูมิ เข้า HS ด้านเย็น	อุณหภูมิ เข้า HS ด้านร้อน	อุณหภูมิ ออก HS ด้าน ร้อน	อุณหภูมิ ห้องอบ	อุณหภูมิห้อง	ความชื้น สัมพัทธ์ ในท่อ
	ด้านร้อน	ด้านเย็น	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	%RH
0	111.74	59.58	56.8	58.2	87.8	56.05	27.8	-
1	111.4	59.1	56.3	57.8	87.5	55.1	28.1	-
2	110.7	57.92	54.4	56.3	86.6	52.95	28.1	-
3	109.82	57.34	55	56.1	86	55.55	28.5	-
5	108.52	56.14	54.4	55.1	84.9	55.7	27.9	-
10	107.32	55.22	54.7	54.4	83.7	55.9	27.4	-
15	107.4	55.34	55.3	54.7	83.7	54.7	27.5	-
20	107.14	55.04	54.9	54.4	83.5	54.65	28.5	-
30	108.28	56.42	56.8	55.9	84.6	55.65	27.5	-
40	108.34	56.54	56.7	55.9	84.8	57.05	28.2	15
50	108.96	57.26	57.7	56.5	85.4	57.8	27.9	13.1
60	109.68	58.4	58.9	58.3	85.9	57.25	28.4	11.6
80	117.62	63.22	62.3	61.9	92.8	64.55	27.8	8.6
100	110.38	65.56	63.4	65.4	88.4	65.15	27.2	7.6
120	113.32	61.54	62.1	60.8	90	63.5	27.3	8.4

หมายเหตุ HS คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้า





ตารางในภาคผนวก ง แสดงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆของเครื่องอบแห้งแบบเทอร์โมอิเล็กทริกในระหว่างการอบแห้งใบย่านางแดง ที่สภาวะต่างดังนี้

ตารางที่ ง.1 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย TE (°C)		อุณหภูมิ เข้า HS ด้านเย็น (°C)	อุณหภูมิ เข้า HS ด้านร้อน (°C)	อุณหภูมิ ออก HS ด้าน ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ห้องอบ (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ ในท่อ %RH
	ด้านร้อน	ด้านเย็น						
0	68.46	37.44	44.5	40.2	55.7	46.1	26.3	17.6
1	68.6	37.16	41.8	38.7	55.6	41.8	26.4	24.1
2	68.12	36.68	41.6	37.1	55.3	41.2	26.4	27.1
3	67.8	36.4	41.7	34.9	55	41.5	26.5	27.9
5	67.04	35.7	41.2	36.5	54.3	41.7	26.3	28.3
10	66.52	35.4	41.6	38.7	53.9	42	26	27.4
15	66.36	35.14	41.5	37.1	53.7	42.1	26.1	26.7
20	66.38	35.2	41.5	34.9	53.6	42.3	26.2	26
30	67.12	36.1	42.4	36.5	54.4	43.3	26.1	24
40	64.275	35.96	42.5	38.7	52.9	43.4	25.9	22.6
50	64.22	35.92	42.5	37.1	52.9	43.3	26.3	21.5
60	60.8	35.36	42	34.9	50.7	42.3	25.9	21
90	60.74	35.56	42.3	36.5	50.9	43.3	26	20.8

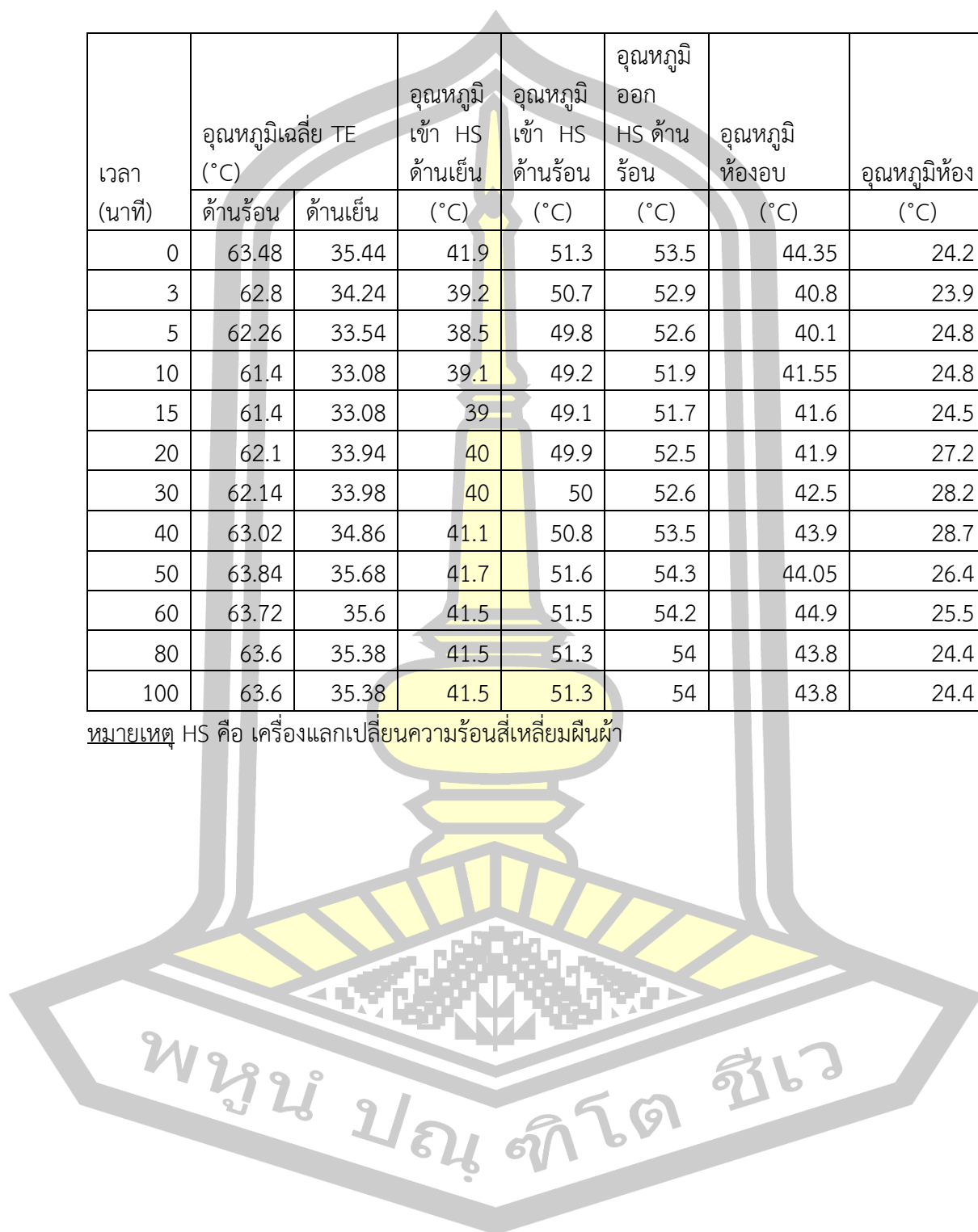
หมายเหตุ HS คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เปลี่ยนพื้นผ้า



ตารางที่ ง.2 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย TE (°C)		อุณหภูมิ เข้า HS ด้านเย็น (°C)	อุณหภูมิ เข้า HS ด้านร้อน (°C)	อุณหภูมิ ออก HS ด้าน ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ห้องอบ (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ ในท่อ %RH
	ด้านร้อน	ด้านเย็น						
0	63.48	35.44	41.9	51.3	53.5	44.35	24.2	21.3
3	62.8	34.24	39.2	50.7	52.9	40.8	23.9	23.3
5	62.26	33.54	38.5	49.8	52.6	40.1	24.8	24.9
10	61.4	33.08	39.1	49.2	51.9	41.55	24.8	25.7
15	61.4	33.08	39	49.1	51.7	41.6	24.5	24.4
20	62.1	33.94	40	49.9	52.5	41.9	27.2	29.8
30	62.14	33.98	40	50	52.6	42.5	28.2	30.4
40	63.02	34.86	41.1	50.8	53.5	43.9	28.7	29.6
50	63.84	35.68	41.7	51.6	54.3	44.05	26.4	26.9
60	63.72	35.6	41.5	51.5	54.2	44.9	25.5	22.7
80	63.6	35.38	41.5	51.3	54	43.8	24.4	17.5
100	63.6	35.38	41.5	51.3	54	43.8	24.4	19

หมายเหตุ HS คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหลี่ยมผืนผ้า



ตารางที่ ง.3 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย TE (°C)		อุณหภูมิ เข้า HS ด้านเย็น (°C)	อุณหภูมิ เข้า HS ด้านร้อน (°C)	อุณหภูมิ ออก HS ด้าน ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ห้องอบ (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ ในท่อ %RH
	ด้านร้อน	ด้านเย็น						
0	97.8	53.56	56.4	53.4	78.5	60.85	27.5	15.1
1	97.82	52.94	52.6	49.6	77.8	50.55	27.8	20.7
2	97.72	52.84	52.5	49.5	77.7	50.2	27.8	23.8
3	97.14	52.24	52.3	49.3	77.3	50.95	28.1	25.5
5	96.84	50.88	51	48	76.2	50.9	28.6	27.3
10	96.04	50.32	51.6	48.6	75.6	51.2	27.5	28.6
15	95.9	50.48	51.9	48.9	75.7	51.75	28.6	26
20	96.32	50.92	52.6	49.6	76.2	52.35	27.3	23.8
30	97.82	52.56	54.2	51.2	77.7	54.2	27.7	-
40	97.32	52.28	54.2	51.2	77.1	54.35	28.8	22.9
50	82.56	49.24	52.1	49.1	69.4	53.95	28	21.8
60	76.48	44.44	49.5	46.5	63.4	50.85	28.1	23
80	83.16	45.34	50.1	47.1	67.1	52	27.5	20

หมายเหตุ HS คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหล็ยผืนผ้า



ตารางที่ ง.4 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย TE (°C)		อุณหภูมิ เข้า HS ด้านเย็น (°C)	อุณหภูมิ เข้า HS ด้านร้อน (°C)	อุณหภูมิ ออก HS ด้าน ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ห้องอบ (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ ในท่อ %RH
	ด้านร้อน	ด้านเย็น						
0	91.78	47.72	49.5	45.5	72.2	49.2	27.5	-
1	91.44	47.32	49.2	45.2	72.1	48.1	27.5	-
2	91.06	46.92	49.3	45.3	71.8	48.85	27.2	-
3	90.84	46.76	49.3	45.3	71.6	49.1	27.1	-
5	89.76	45.7	48	44	70.6	48.25	28	-
10	89.54	45.98	49.7	45.7	70.7	50.35	27.5	-
15	90.02	46.26	50	46	71	50.5	28.6	-
20	90.42	46.66	50.4	46.4	71.6	51.35	27.5	-
30	91.62	48	51.9	47.9	72.9	52.7	27.8	-
40	92.74	49.16	53	49	73.9	54.1	29.1	-
50	80.74	45.66	50.9	46.9	66.3	51.95	27	-
60	78.84	44	49.7	45.7	64.5	50.6	27.3	-
80	78.28	43.66	49.5	45.5	63.9	50.6	27.2	-

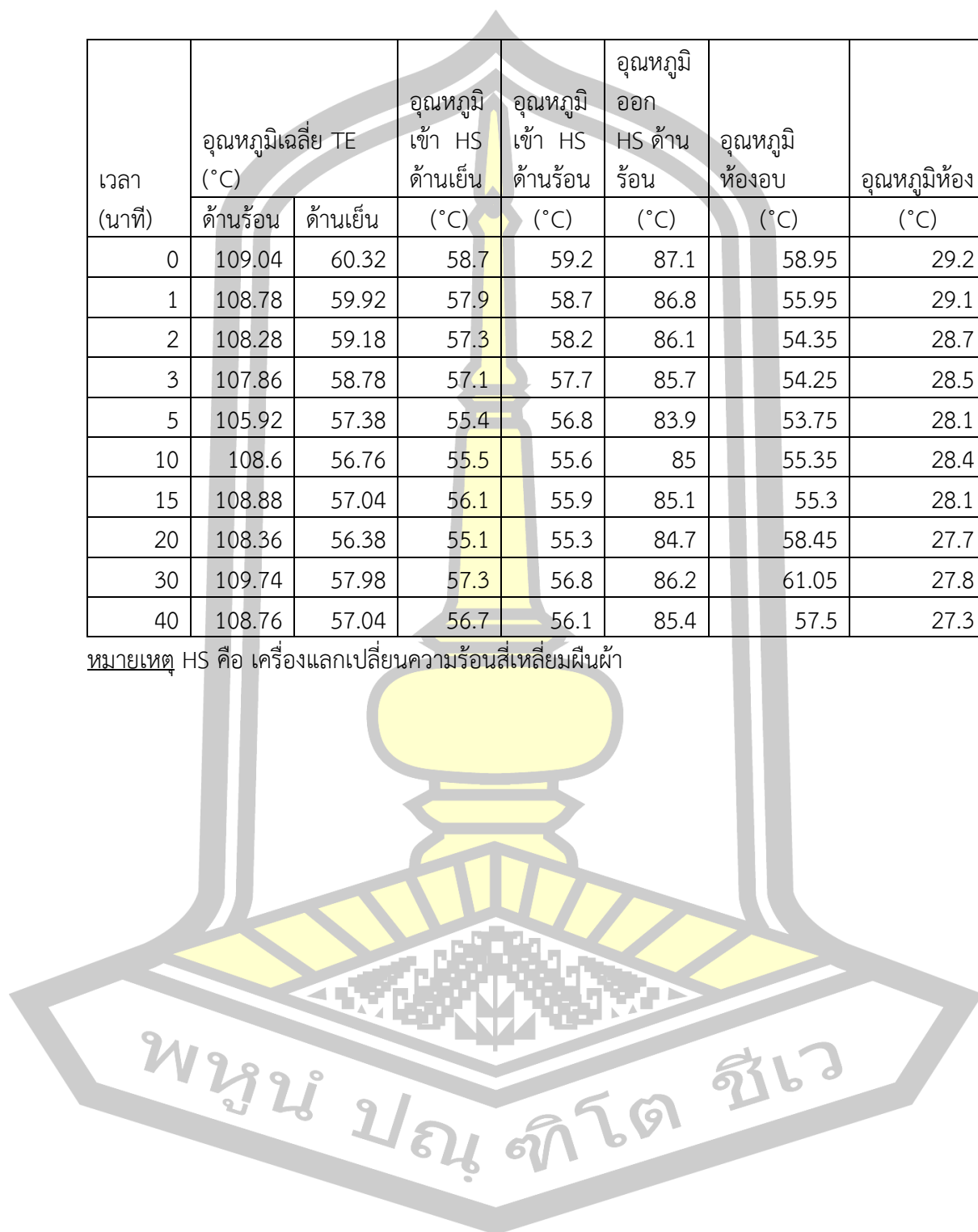
หมายเหตุ HS คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหลี่ยมผืนผ้า



ตารางที่ ง.5 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย TE (°C)		อุณหภูมิ เข้า HS ด้านเย็น (°C)	อุณหภูมิ เข้า HS ด้านร้อน (°C)	อุณหภูมิ ออก HS ด้าน ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ห้องอบ (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ ในท่อ %RH
	ด้านร้อน	ด้านเย็น						
0	109.04	60.32	58.7	59.2	87.1	58.95	29.2	-
1	108.78	59.92	57.9	58.7	86.8	55.95	29.1	-
2	108.28	59.18	57.3	58.2	86.1	54.35	28.7	-
3	107.86	58.78	57.1	57.7	85.7	54.25	28.5	-
5	105.92	57.38	55.4	56.8	83.9	53.75	28.1	-
10	108.6	56.76	55.5	55.6	85	55.35	28.4	-
15	108.88	57.04	56.1	55.9	85.1	55.3	28.1	-
20	108.36	56.38	55.1	55.3	84.7	58.45	27.7	-
30	109.74	57.98	57.3	56.8	86.2	61.05	27.8	-
40	108.76	57.04	56.7	56.1	85.4	57.5	27.3	-

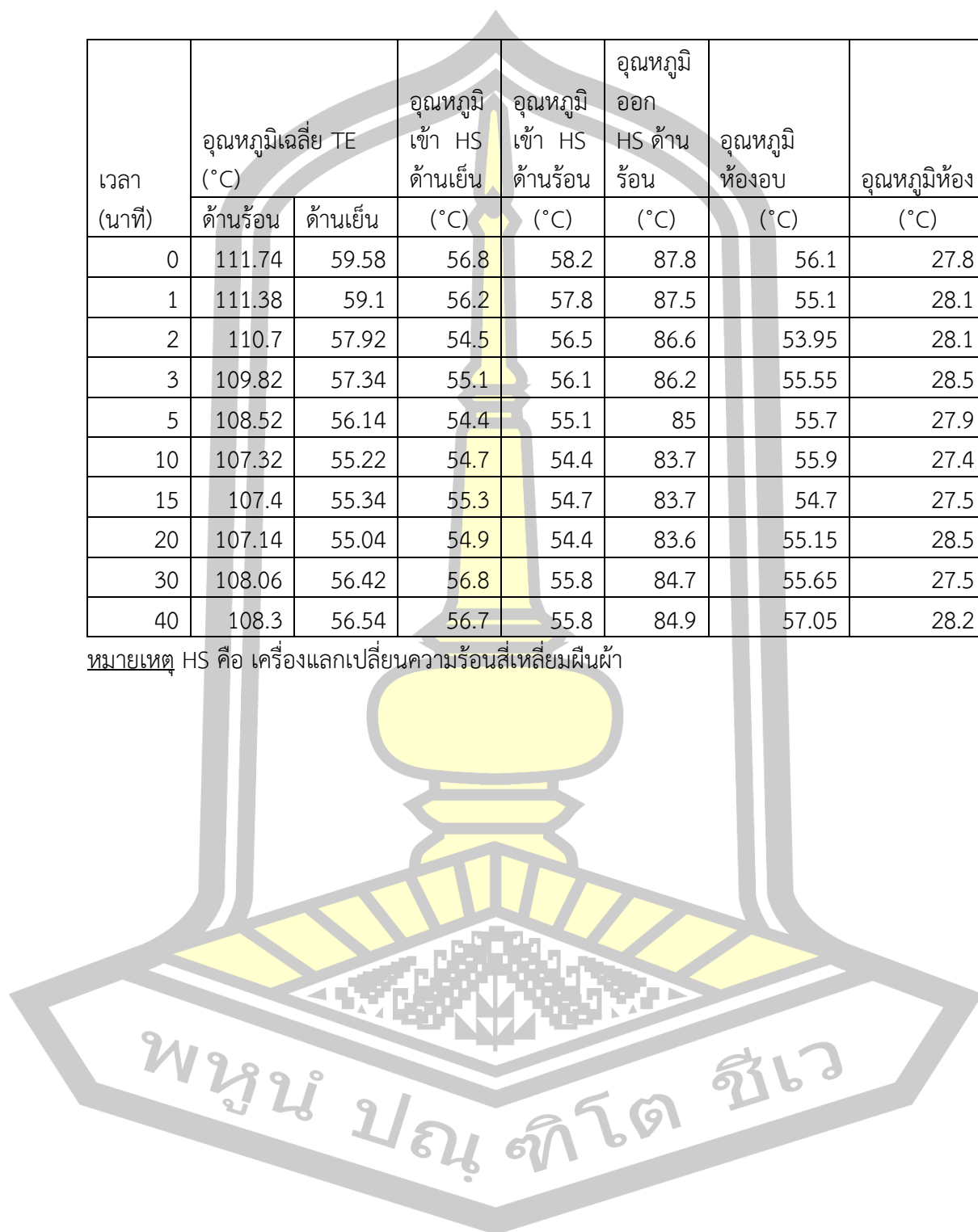
หมายเหตุ HS คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหลี่ยมผืนผ้า



ตารางที่ ง.6 สภาวะที่ห้องอบมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.45 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย TE (°C)		อุณหภูมิ เข้า HS ด้านเย็น (°C)	อุณหภูมิ เข้า HS ด้านร้อน (°C)	อุณหภูมิ ออก HS ด้าน ร้อน (°C)	อุณหภูมิ ห้องอบ (°C)	อุณหภูมิห้อง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ ในท่อ %RH
	ด้านร้อน	ด้านเย็น						
0	111.74	59.58	56.8	58.2	87.8	56.1	27.8	-
1	111.38	59.1	56.2	57.8	87.5	55.1	28.1	-
2	110.7	57.92	54.5	56.5	86.6	53.95	28.1	-
3	109.82	57.34	55.1	56.1	86.2	55.55	28.5	-
5	108.52	56.14	54.4	55.1	85	55.7	27.9	-
10	107.32	55.22	54.7	54.4	83.7	55.9	27.4	-
15	107.4	55.34	55.3	54.7	83.7	54.7	27.5	-
20	107.14	55.04	54.9	54.4	83.6	55.15	28.5	-
30	108.06	56.42	56.8	55.8	84.7	55.65	27.5	-
40	108.3	56.54	56.7	55.8	84.9	57.05	28.2	-

หมายเหตุ HS คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหลี่ยมผืนผ้า



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	เกศดาพร วงษ์ซิ้ม
วันเกิด	วันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ 2520
สถานที่เกิด	จังหวัดมหาสารคาม
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	3 ซอย 5 ถนนนครสวรรค์ ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44000
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	อาจารย์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	หลักสูตรวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏ มหาสารคาม
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2546 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมกร ผลิต(เครื่องกล) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2550 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรม การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2562 ปริญญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	ทุนการศึกษาจากมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผลงานวิจัย	Wongsim, K., J. Jamradloedluk, C. Lertsatitthanakorn, S. Siriamornpun, M. Rungsiyopas and S.Soponronnarit. 2015. Experimental performance of thermoelectric heat-pump drying system for drying herbs. Journal of ELECTRONIC MATERIAL, 44(), 2142- 2145.

พูน ปณ ทิโต ชีเว