



การอบแห้งใบเตยและตะไคร้เพื่อผลิตเป็นชาสมุนไพร ด้วยแหล่งพลังงานความร้อนหลายรูปแบบ

*สุภาวรรณ ภูริระวณิชย์กุล¹, จุฑารัตน์ ทะสระระ², จุไรรัตน์ สุริยงค์³, ปิยาภรณ์ ปานกำเนิด⁴ และยุทธนา ภูริระวณิชย์กุล⁵

¹ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์หาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ต.รูสะมิแล, อ.เมือง จ.ปัตตานี

³โรงเรียนสันติสุข อ.คอยหล่อ จังหวัดเชียงใหม่ 50160

⁴โรงเรียนบ้านเขาพระ จังหวัดสงขลา 90180

⁵ห้องปฏิบัติการวิจัยพลาสติกและเทคโนโลยีพลังงาน ภาควิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์หาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

ผู้เขียนติดต่อ: สุภาวรรณ ภูริระวณิชย์กุล E-mail: supawan.t@psu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาแนวทางการอบแห้งใบเตยและตะไคร้เพื่อใช้ทำสมุนไพรแห้งซึ่งต้มด้วยแหล่งความร้อนแบบการพาความร้อนด้วยลมร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อน และแบบการแผ่รังสีอินฟราเรด และศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิอบแห้งและเงื่อนไขการอบแห้งที่มีต่อจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์สมุนไพรใบเตยและตะไคร้แห้งซึ่งต้มโดยใช้อุณหภูมิอบแห้งในช่วง 40-60°C ความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 0.5±0.1 m/s ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งถูกนำมาศึกษาเปรียบเทียบกัน ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงมีอัตราการอบแห้งเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ โดยอัตราการลดลงของความชื้นของสมุนไพรทั้งสองชนิดเป็นฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียลของเวลาอบแห้ง และสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นสามารถทำนายอัตราการอบแห้งของสมุนไพรทั้งสองชนิดได้เป็นอย่างดี เมื่อพิจารณาถึงความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง พบว่า แนวทางการอบแห้งการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดจะมีค่าต่ำที่สุด

คำสำคัญ: สมร้อน; การอบแห้ง; ใบเตย; ตะไคร้

คำนำ

สมุนไพร (Medicinal Plant หรือ Herb) เป็นพืชที่กำเนิดจากธรรมชาติ และนับเป็นเทคโนโลยีพื้นบ้านที่สำคัญซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น เป็นยารักษาโรค บริโภคเป็นอาหารเสริมสุขภาพ สีสผสมอาหาร สีย้อม เครื่องสำอางตลอดจนนำมาทำเป็นเครื่องดื่มได้อีกด้วย โดยเฉพาะการนำสมุนไพรมาเป็นเครื่องดื่มที่ใช้รูปแบบในการบริโภคเช่นเดียวกับการชงชาโดยการชงชาเป็นการสกัดสารที่เป็นตัวยาสำคัญด้วยความร้อนในช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อไม่ให้สารที่ไม่พึงประสงค์ถูกสกัดออกมาหรือเพื่อป้องกันไม่ให้สารคุณประโยชน์ที่ต้องการถูกทำลายด้วยความร้อนที่ระยะ

เวลานานเกินไป เช่น การอบแห้งแบบฟลูอิดเซชัน การอบแห้งแบบสเปาเต็ด, การอบแห้งด้วยบีมความร้อน เป็นต้น [1] สมุนไพรที่ใช้รูปแบบในการบริโภคเช่นเดียวกับชา มักจะเรียก ชาสมุนไพร โดยส่วนใหญ่มักจะเป็นสมุนไพรที่มีสารระเหยที่มีกระหายไปเมื่อทำแห้งด้วยความร้อนสูง เช่น ผลมะตูม ดอกกระเจี๊ยบ ชิง ใบหม่อน ใบบัวบก ใบเตย ตะไคร้ เป็นต้น การบริโภคชาสมุนไพรให้ได้ประโยชน์ ปลอดภัยจะต้องมีขั้นตอนการผลิตและบรรจุที่ถูกต้องลักษณะ ผลพลอยได้ คือ ผู้บริโภคได้รับสารทางประสาทสัมผัส เช่น กลิ่นหอมจากสมุนไพรด้วย เป็นต้น

ชาสมุนไพร คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืชชาเป็นส่วนของลำต้น ใบหรือราก โดยปกติสมุนไพรแห้งที่ใช้ทำชา มักมา

จากการทำแห้งโดยการนำสมุนไพรสดไปตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์หรืออบแห้งด้วยแหล่งความร้อนอื่น ๆ ซึ่งอาจนำไปแปรรูปโดยการหั่นหรือบดเป็นต้น โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อนำไปบริโภคโดยการต้มหรือชงกับน้ำดื่ม ชาสมุนไพรจัดเป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 280) ตั้งแต่ปี พ.ศ.2547 เรื่องชาสมุนไพร จะต้องมีความคุณภาพมาตรฐานตามกำหนดรวมทั้งวิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต การเก็บรักษาในภาชนะบรรจุตลอดจนฉลากได้ผ่านการตรวจสอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) จึงสามารถผลิตหรือนำเข้ามาเพื่อออกจำหน่ายได้

ชาสมุนไพรหรือเครื่องดื่มสมุนไพร เป็นผลิตภัณฑ์ที่กำลังได้รับความนิยมในหมู่คนรักสุขภาพ อาทิเช่นใบเตย (*Pandanus odoratus*) เป็นพืชสมุนไพรจำพวกหญ้า มีสารหอมระเหย กลิ่นหอม และมีสารสีเขียวเป็นคลอโรฟิลล์ มีสรรพคุณทางยา คือ ช่วยลดอาการกระหายน้ำ บำรุงหัวใจ และช่วยให้สดชื่น เป็นต้น [2] หรือที่เรียกว่าเป็นยาที่มีฤทธิ์เย็น ใบเตยเป็นพืชที่เพาะปลูกได้ง่ายและสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นชาขงดื่มได้ สำหรับพืชสมุนไพรอีกชนิดที่น่าสนใจ คือ ตะไคร้ (*Cymbopogon citratus* CDC; Stapf.) มีสรรพคุณทั้งต้น ใบและราก โดยลำต้นนั้นที่มีรสฉุนสามารถแก้หวัด ปวดศีรษะ ไอ ท้องอืดท้องเฟ้อ แน่นจุกเสียด ขับลมในลำไส้ บำรุงไฟธาตุ ทำให้เจริญอาหาร แก้ปวดกระเพาะอาหาร แก้ท้องเสีย ปวดข้อ ปวดเมื่อย ฟกช้ำจากหกล้ม ขาบวม น้ำ โดยเฉพะโรคทางเดินปัสสาวะ นิ่ว ขับปัสสาวะ ประจำเดือนมาผิดปกติ และโรคหืด สำหรับราก มีสรรพคุณทางยาใกล้เคียงกับต้นและบำรุงไฟธาตุ ขับปัสสาวะ แก้นิ่ว แก้ปัสสาวะพิการ รักษาเกลืออื่น แก้อาการขัดเบาได้ นอกจากนี้ใบสด ยังมีสรรพคุณช่วยลดความดันโลหิตสูง แก้ไข้ [2] ดังนั้นตะไคร้จึงเป็นพืชสมุนไพรที่น่าสนใจอีกชนิดหนึ่ง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาแนวทางการอบแห้งใบเตยและตะไคร้เพื่อผลิตชาขงดื่ม โดยอาศัยแหล่งพลังงาน ได้แก่ พลังงานความร้อนจากขดลวดไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ และรังสีอินฟราเรด และอธิบายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งด้วยสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งสมุนไพรทั้งสองชนิด ในช่วง

อุณหภูมิอบแห้ง 40-60°C รวมทั้งศึกษาถึงปัจจัยของแหล่งพลังงานที่มีต่อความเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ

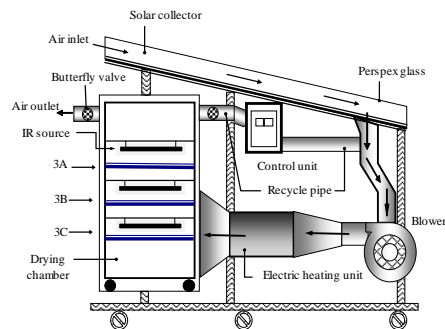
วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ใบเตย และ ตะไคร้ นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้ง จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ และนำมาหั่น โดย

- ใบเตยหั่นขนาด 0.5 cm จำนวน 200g/ถาด
- ตะไคร้ หั่นตามแนวขวางหนาประมาณ 0.1-0.2 mm จำนวน 300g/ถาด

หลังจากเตรียมใบเตย และตะไคร้เรียบร้อยแล้ว นำใบเตยหั่นและตะไคร้หั่น ไปหาค่าความชื้นเริ่มต้น ตามมาตรฐาน AOAC (1995) คือ อบแห้งที่ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง [4]

2.2 อุปกรณ์

2.2.1 เครื่องอบแห้ง ที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย ห้องอบแห้งมีปริมาตร 60×80×158.5 cm³ ภายในบุฉนวนใยแก้ว หนา 5 cm



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม [3]

มีแหล่งพลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า ขนาด 1,000×6 W และแผงเก็บสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นหลังคาเครื่องอบแห้งขนาด 1.5×2.25 m² และภายในห้องอบแห้งมีหลอดรังสีความร้อนอินฟราเรดขนาด 500×4 W ในแต่ละชั้นของถาดอบแห้ง (ชั้น 3A-3C ในรูปที่ 1)

2.2.2 ถาดอบแห้งเหล็กไร้สนิมสำหรับใส่วัสดุเพื่ออบแห้งขนาด 33×32×2 cm³ จำนวน 3 ถาด

2.2.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ A&D รุ่น GF 3000 ค่าความละเอียด ±0.01 กรัม

2.2.4 พัดลมใบพัดโค้งหน้าขนาด 1.0 hp 1 เครื่อง

2.2.5 เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ความละเอียด ± 0.01°C ต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เพื่อวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง อุณหภูมิแวดล้อม

2.2.6 เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-45 ความละเอียด ± 0.01 m/s

2.3 การทดลองอบแห้ง

2.3.1 การทดลองอบแห้งใบเตยสดและตะไคร้สดด้วยลมร้อน มีสถานะในการทดลอง ดังนี้

สถานะในการอบแห้งใบเตย

- สถานะที่ 1 การอบแห้งใบเตยด้วยลมร้อน อุณหภูมิอบแห้ง 40 50 และ 60°C

- สถานะที่ 2 อบแห้งใบเตยด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ 50 และ 60°C

สถานะในการอบแห้งตะไคร้

- สถานะที่ 1 อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60°C

- สถานะที่ 2 อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60°C ที่กำลัง 1,000 W

2.3.2 ทดลองอบแห้งทั้งหมด 3 ภาด และความเร็วลมเฉลี่ยที่ใช้ในการอบแห้ง 0.5±0.1 m/s บันทึกผลการทดลอง ได้แก่ น้ำหนัก อุณหภูมิกระเปาะแห้ง และอุณหภูมิต่อแห้งภายในตู้อบแห้ง กำหนดความชื้นสุดท้ายของวัสดุประมาณ 20-25% ฐานแห้ง

2.3.3 บันทึกปริมาณพลังงานที่ใช้ด้วย Watt-hour meter

2.3.4 หาความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (1995) โดยการอบแห้งใบเตยและตะไคร้ที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง [3]

2.4 การสร้างแบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์

การหารูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง ได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบต่าง ๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง [1, 6]

Name of model	Model equation
Newton	$MR = \exp(-kt)$ (1)
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$ (2)
Logistic	$MR = a / [1 + \exp(kt)]$ (3)
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$ (4)

จากการนำข้อมูลผลการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการแบบไม่เป็นเชิงเส้นเพื่อเลือกสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่เหมาะสมโดยจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) ที่สูงที่สุด และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root mean square error, RMSE) ที่ต่ำที่สุด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (5)-(6) ตามลำดับ

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pred,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{pred} - MR_{pred,i})^2} \quad (5)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pred,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

เมื่อ N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด, $MR_{exp,i}$, $MR_{pred,i}$ และ MR_{pred} คือ อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองจากการทำนาย และอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย ตามลำดับ

2.5 การทดสอบคุณภาพใบเตยและตะไคร้ อบแห้ง

พิจารณาสมบัติทางกายภาพของใบเตยและตะไคร้ โดยสังเกต สี กลิ่น ลักษณะรูปร่าง ลิ้มรส เปรียบเทียบกับก่อนอบแห้งและหลังอบแห้ง และเปรียบเทียบกับใบเตย และตะไคร้ ที่ตากแห้งโดยธรรมชาติ

2.6 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งใบเตย และตะไคร้ สามารถคำนวณโดย นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองคือ ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้าย พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมดในแต่ละสถานะ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะตามสมการที่ (6) [1]

$$SEC = \frac{3.6P}{(M_i - M_f) * W_d} \quad (7)$$

เมื่อ P คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้, kW-h

M_i คือ ความชื้นเริ่มต้นของตะไคร้, % ฐานแห้ง

M_f คือ ความชื้นสุดท้ายของตะไคร้, % ฐานแห้ง และ

W_d คือ น้ำหนักแห้ง, kg

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

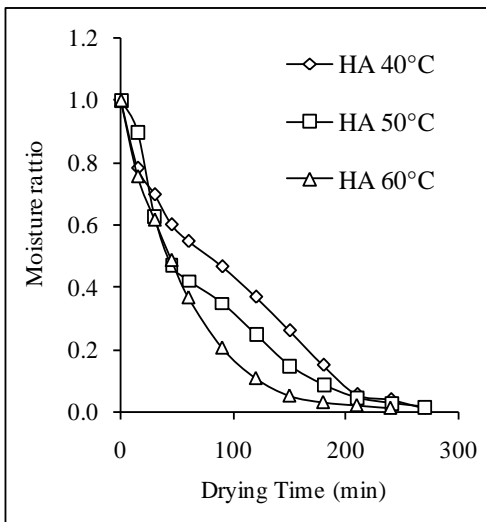
3.1 จลนพลศาสตร์การอบแห้ง

จากการทดลองการอบแห้งใบเตย และตะไคร้ ด้วยอากาศร้อนที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ เมื่อพิจารณาว่า ค่าความชื้นสมดุลมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความชื้นเริ่มต้นและความชื้นที่เวลาใด ๆ จึงคำนวณค่าอัตราส่วนความชื้นที่เวลาต่าง ๆ ดังสมการที่ (8)

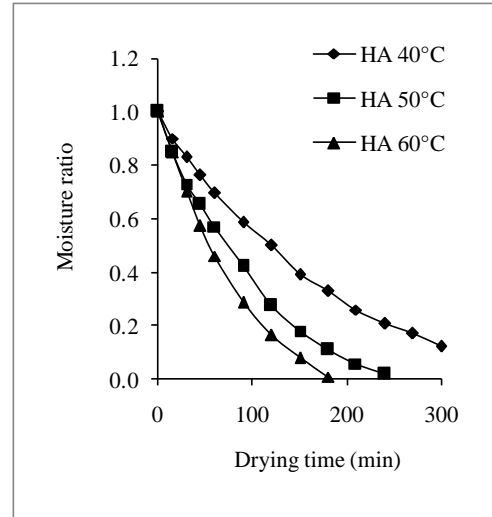
$$MR = \text{Moistureratio} = \frac{M}{M_{in}} \quad (8)$$

เมื่อ M, M_{in} คือ ค่าความชื้นที่เวลา t ใด ๆ และความชื้นเริ่มต้น (เศษส่วนฐานแห้ง) ตามลำดับ

ผลการทดลองอบแห้ง ใบเตย และตะไคร้ด้วยลมร้อนอุณหภูมิอบแห้ง 40-60°C แสดงดังรูปที่ 2(ก) และ 2(ข)



(ก)ใบเตย

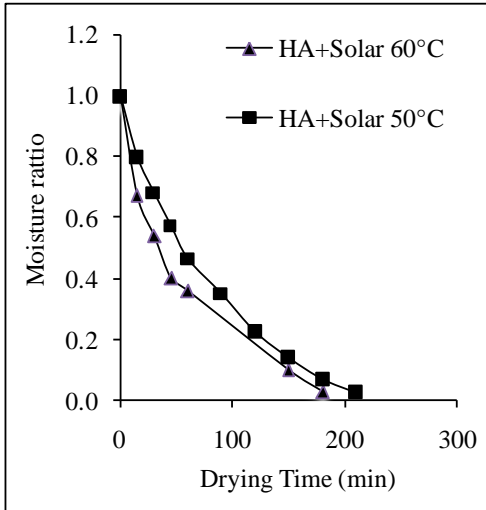


(ข)ตะไคร้

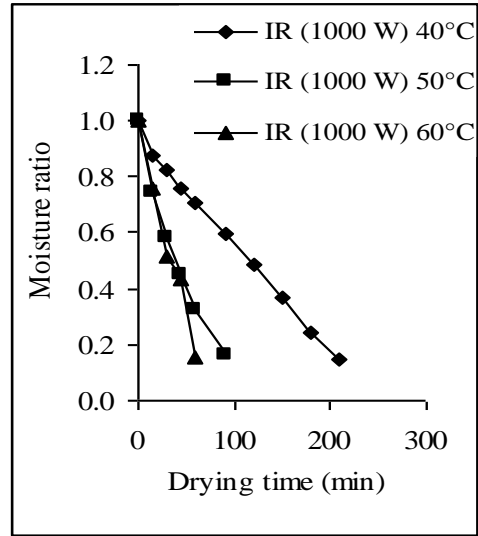
รูปที่ 2 จลนพลศาสตร์การอบแห้ง อุณหภูมิอบแห้ง 40, 50 และ 60°C ความเร็วลมเฉลี่ย 0.5 m/s: (ก) ใบเตยความชื้นเริ่มต้น 705-756% ฐานแห้ง (ข) ตะไคร้ ความชื้นเริ่มต้น 705-756% ฐานแห้ง

พบว่า อุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อจลนพลศาสตร์การถ่ายเทความชื้นของใบเตยและตะไคร้ระหว่างการอบแห้ง โดยอัตราการอบแห้งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มขึ้น และจลนพลศาสตร์การอบแห้งทั้งของใบเตยและตะไคร้จะเป็นไปในลักษณะเดียวกัน คือ การลดลงของความชื้นมีลักษณะกราฟเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล

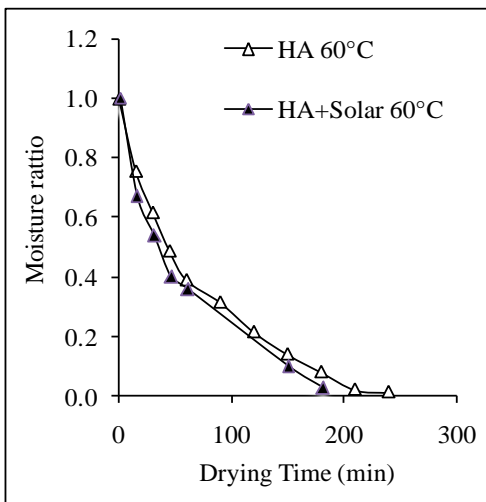
จากรูปที่ 3 และรูปที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบของการใช้แหล่งพลังงานที่ต่างกัน พบว่าการอบแห้งใบเตยด้วยลมร้อนจะมีอัตราการอบแห้งที่ต่ำกว่าการอบแห้งแบบใช้ลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากการอบแห้งแบบใช้ลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการถ่ายโอนความร้อนแบบการพาพร้อมกับการแผ่รังสีทำให้น้ำระเหยได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนซึ่งเป็นการถ่ายโอนความร้อนแบบการพาเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 3 อัตราส่วนความชื้นของใบเตยที่อบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอบแห้ง 50 และ 60°C ความเร็วลมเฉลี่ย 0.5 m/s



รูปที่ 5 อัตราส่วนความชื้นของตะไคร้ที่อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดกำลังของรังสีอินฟราเรด 1000 วัตต์ อุณหภูมิอบแห้ง 40-60°C



รูปที่ 4 อัตราส่วนความชื้นของใบเตยที่อบแห้งด้วยลมร้อนและพลังงานความร้อนร่วมระหว่างลมร้อนกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C ความเร็วลมเฉลี่ย 0.5 m/s

จากรูปที่ 5 แสดงอัตราส่วนความชื้นของตะไคร้ที่อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่เวลาอบแห้งใด ๆ ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นจะใช้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งตะไคร้ลดลง และการอบแห้งตะไคร้ด้วยรังสีอินฟราเรดที่ กำลัง 1,000 W ที่อุณหภูมิอบแห้งช่วง 40-60°C จะใช้ระยะเวลาสั้นกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอบแห้งเท่ากันสอดคล้องกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา [2, 5-7]

อย่างไรก็ตามในการอบแห้งตะไคร้แต่ละวิธีจะต้องพิจารณาถึงคุณภาพของตะไคร้หลังการอบแห้งรวมทั้งพิจารณาความเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งด้วย

จากรูปที่ 2-5 นั้น สามารถใช้ข้อมูลมาสร้างสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์แบบไม่เชิงเส้น เพื่อหาค่าคงที่ต่าง ๆ แสดงผลดังตารางที่ (2) และ (3)

จากตารางที่ 2 จะพิจารณาสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งที่เหมาะสม จากสมการที่มีค่า Determination of coefficient (R^2) ที่สูงที่สุด และค่า Root mean square error (RMSE) ต่ำสุด

สำหรับใบเตย สรุปได้ว่าสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งใบเตยด้วยลมร้อนช่วงอุณหภูมิ 40-60°C และการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งใบเตยที่เหมาะสม คือ สมการ Logarithmic

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ต่างๆ ที่คำนวณได้จากสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งใบเตยด้วยแหล่งพลังงานความร้อนต่างๆ

Newton model		
40°C	$K=0.0104$	$R^2=0.971$ RMSE=0.035
50°C	$K=0.0135$	$R^2=0.984$ RMSE=0.040
60°C	$K=0.0172$	$R^2=0.998$ RMSE=0.057



<p>Logarithmic model</p> <p>40°C a=1.1175 k=0.0068 c=-0.1819 R²=0.983 RMSE=0.020</p> <p>50°C a=1.0068 k=0.0136 c=0.0012 R²=0.984 RMSE=0.013</p> <p>60°C a=1.0194 k=0.0163 c=-0.0214 R²=0.998 RMSE=0.024</p>
<p>Logistic model</p> <p>40°C a=1.8503 k=0.0138 R²=0.976 RMSE=0.050</p> <p>50°C a=1.9209 k=0.0188 R²=0.973 RMSE=0.033</p> <p>60°C a=1.9347 k=0.0243 R²=0.997 RMSE=0.041</p>
<p>Henderson and Pabis model</p> <p>40°C a=0.9712 k=0.0100 R²=0.973 RMSE=0.014</p> <p>50°C a=1.0076 k=0.0136 R²=0.988 RMSE=0.012</p> <p>60°C a=1.0049 k=0.0173 R²=0.998 RMSE=0.023</p>
Hot Air Drying+Solar
<p>Newton model</p> <p>50°C K=0.0128 R²= 0.995 RMSE=0.033</p> <p>60°C K=0.0196 R²= 0.984 RMSE=0.045</p>
<p>Logarithmic model</p> <p>50°C a=1.0559 k=0.0107 c=-0.0782 R²=0.998 RMSE=0.013</p> <p>60°C a=0.9319 k=0.0203 c=0.0365 R²=0.989 RMSE=0.020</p>
<p>Logistic model</p> <p>50°C a=1.9058 k=0.0178 R²=0.993 RMSE=0.055</p> <p>60°C a=1.8639 k=0.0272 R²=0.970 RMSE=0.042</p>
<p>Henderson and Pabis model</p> <p>50°C a=0.9955 k=0.0127 R²=0.990 RMSE=0.031</p> <p>60°C a=0.9589 k=0.0185 R²=0.987 RMSE=0.045</p>

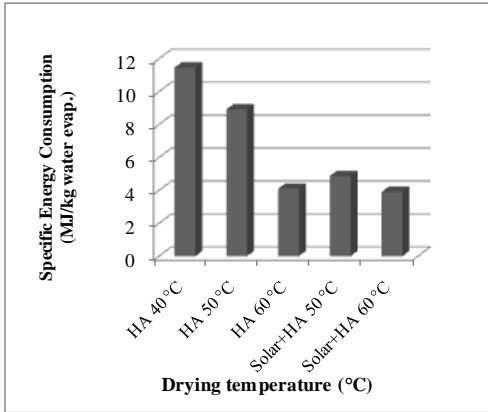
<p>40°C a=1.9398 k=0.0089 R²= 0.998 RMSE=0.029</p> <p>50°C a=1.9586 k=.01526 R²= 0.997 RMSE=0.038</p> <p>60°C a=2.0046 k=0.0205 R²= 0.998 RMSE=0.019</p>
<p>Henderson and Pabis model</p> <p>40°C a=1.0083 k=0.0063 R²= 0.997 RMSE=0.054</p> <p>50°C a=1.0215 k=0.0109 R²= 0.990 RMSE=0.036</p> <p>60°C a=1.0397 k=0.0145 R²= 0.989 RMSE=0.044</p>
IR 1,000 W
<p>Newton model</p> <p>40°C K=0.0068 R²= 0.973 RMSE=0.045</p> <p>50°C K=0.0188 R²= 0.997 RMSE=0.022</p> <p>60°C K=0.0224 R²= 0.956 RMSE=0.033</p>
<p>Logarithmic model</p> <p>40°C a=3.4850 k=0.0013 c=-2.5178 R²=0.996 RMSE=0.023</p> <p>50°C a=1.0854 k=0.0159 c=-0.0943 R²=0.998 RMSE=0.010</p> <p>60°C a=3.9988 k=0.0038 c=-3.0092 R²=0.983 RMSE=0.015</p>
<p>Logistic model</p> <p>40°C a=1.9742 k=0.0102 R²= 0.987 RMSE=0.029</p> <p>50°C a=1.9465 k=0.0275 R²= 0.994 RMSE=0.021</p> <p>60°C a=2.0178 k=0.0344 R²= 0.971 RMSE=0.036</p>
<p>Henderson and Pabis model</p> <p>40°C a=1.0167 k=0.0069 R²= 0.973 RMSE=0.028</p> <p>50°C a=0.9999 k=.01883 R²= 0.997 RMSE=0.034</p> <p>60°C a=1.0265 k=0.0233 R²= 0.958 RMSE=0.031</p>

สำหรับตะไคร้ ผลของการหาค่าคงที่ต่าง ๆ ในสมการอบแห้งในตารางที่ 3 พบว่าสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งตะไคร้ทั้งกรณีการอบแห้งด้วยลมร้อนและการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด อุณหภูมิอบแห้งช่วง 40-60°C สมการที่เหมาะสมเป็นสมการของ Logarithmic ตารางที่ 3 ค่าคงที่ต่าง ๆ ที่คำนวณได้จากสมการแบบจำลองคณิตศาสตร์ของการอบแห้งตะไคร้ด้วยแหล่งพลังงานความร้อนต่างๆ

Hot Air Drying
<p>Newton model</p> <p>40°C K=0.0062 R²= 0.997 RMSE=0.042</p> <p>50°C K=0.0106 R²= 0.989 RMSE=0.044</p> <p>60°C K=.01381 R²= 0.987 RMSE=0.057</p>
<p>Logarithmic model</p> <p>40°C a=1.0858 k=0.0054 c=-0.0889 R²=0.999 RMSE=0.014</p> <p>50°C a=1.1559 k=0.0078 c=-0.1656 R²=0.999 RMSE=0.011</p> <p>60°C a=1.1901 k=0.0102 c=-0.1809 R²=0.999 RMSE=0.017</p>
<p>Logistic model</p>

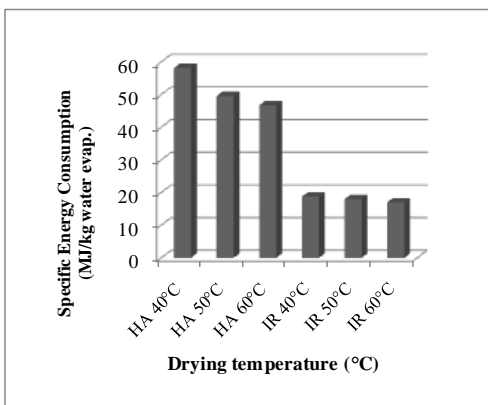
3.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง

จากการทดลองอบแห้งใบเตย และตะไคร้ ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 50 และ 60°C แสดงดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7 พบว่า ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอบแห้ง โดยค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งใบเตย จะมีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น และมีค่าเท่ากับ 11.5, 8.92 และ 4.09 MJ/kg water evaporated ตามลำดับ



รูปที่ 6 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งใบเตยด้วยลมร้อนและลมร้อนร่วมกับแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอบแห้ง 40-60°C ความเร็วลมเฉลี่ย 0.5 m/s

รูปที่ 7 แสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งระหว่างการอบแห้งตะไคร้ ช่วงอุณหภูมิ 40-60°C ด้วยลมร้อนและการใช้รังสีอินฟราเรด พบว่า ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งตะไคร้ด้วยลมร้อน มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง ในช่วง 40-68 MJ/kg of water evaporated และมีค่าที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับการอบแห้งใบเตย ที่ทุกอุณหภูมิอบแห้งด้วยลมร้อน ทั้งนี้ น่าจะมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของสมุนไพรตัวอย่าง โครงสร้างของวัสดุ และความเป็นรูพรุนของใบเตยและตะไคร้ที่ต่างกัน ตลอดถึงการเตรียมขนาดและความหนาของวัสดุที่ไม่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาในครั้งนี้ น่าจะสามารถใช้เป็นแนวทางหนึ่งในการดำเนินงานต่อเนื่องไปในการวางแผนการอบแห้งทั้งใบเตยและตะไคร้ สำหรับผลิตเป็นชาสมุนไพรขี้ผึ้ง โดยได้สภาวะที่ดี ทั้งประหยัดพลังงานและได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของผู้บริโภค



รูปที่ 7 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งตะไคร้ด้วยลมร้อนและรังสีอินฟราเรด อุณหภูมิอบแห้ง 40-60°C ความชื้นเริ่มต้น 705-756% ฐานแห้ง ความเร็วลมเฉลี่ย 0.5 m/s

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของการอบแห้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณพลังงานที่ใช้ในการระเหยความชื้นออกจากวัสดุมีค่าลดลง สอดคล้องกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลของจลนพลศาสตร์การอบแห้ง คือ เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะลดลง

เมื่อทำการหาแนวทางการอบแห้งตะไคร้ โดยให้มีความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำ จึงได้เลือกใช้การอบแห้งตะไคร้ด้วยรังสีอินฟราเรด เป็นการอาศัยหลักการแผ่รังสีความร้อนไปยังวัสดุ และคลื่นรังสีอินฟราเรดสามารถแทรกซึมลงไปภายในชั้นของวัสดุ ทำให้น้ำภายในวัสดุได้รับพลังงานความร้อน และเกิดการถ่ายโอนไปยังอากาศแวดล้อมได้เร็วขึ้น พบว่า การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน จึงน่าจะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะมีการนำรังสีอินฟราเรดไปประยุกต์ใช้ในการอบแห้งวัสดุทางการเกษตร เช่น ตะไคร้ใบเตย เพราะมีความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งต่ำ รวมทั้งใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้น

3.3 คุณภาพของใบเตยและตะไคร้อบแห้ง

เมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพโดยการทดสอบแบบประสาทสัมผัสของใบเตย และตะไคร้อบแห้งเพื่อผลิตชาสมุนไพรขี้ผึ้ง พบว่า การอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 40-60°C ที่อัตราการไหลของอากาศอบแห้ง 0.5±0.1 m/s ใบเตยมีสีลักษณะเป็นเขียวธรรมชาติ และเมื่อนำมาชงเป็นชาทำให้ได้ชาที่มีกลิ่นธรรมชาติของใบเตย สำหรับตะไคร้แห้ง พบว่าสีของตะไคร้หลังการอบแห้งจะมีสีแดงเข้ม และมีลักษณะการคงรูปได้ดีกว่าตะไคร้ที่ตากแห้งโดยธรรมชาติ ในการทดสอบกลิ่น พบว่าตะไคร้ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิอบแห้งไม่เกิน 60°C ทั้งการใช้ลมร้อนและรังสีอินฟราเรด จะมีกลิ่นหอมมากกว่าการตากแห้งโดยธรรมชาติ โดยรสชาติของน้ำชงใบเตยและใบเตยจะให้รสขมเล็กน้อย และได้สีเหลืองน้ำตาล ตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างของการวัดค่าสีของตะไคร้ของคณะผู้วิจัยที่รายงานไว้ในบทความวิจัยอื่น [6] ซึ่งผลการทดลองใน



งานวิจัยนี้สอดคล้องเป็นอย่างดีกับงานวิจัยที่ผ่านมา สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นส่งผลให้ความสว่าง (L^*) มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อค่าความเป็นสีแดง (a^*) และสีเขียว (b^*) เพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 4 ค่าสีที่วัดได้ด้วยของใบเตยอบแห้งด้วยลมร้อนและรังสีอินฟราเรดในช่วง 40-60°C [6]

แหล่งพลังงาน	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	ค่าสี (CIE Lab unit)		
		L^*	a^*	b^*
ลมร้อน	64.6	38.69	-10.35	20.94
	54.7	38.68	-9.44	20.02
	44.6	35.12	-8.53	20.04

หมายเหตุ ค่าที่วัดได้แสดงว่าเป็นสีเดิมเดิมของสีแดง คือมีค่าความเป็นสีเขียวนั่นเอง

สำหรับการทดสอบโดยการชิมนั้น ได้ทำการทดสอบด้วยผู้ชิมที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน จำนวน 20 คน โดยผลการทดลองพบว่า ความชอบโดยรวมของผู้ชิมมีแนวโน้มชอบรสชาติของน้ำชาสมุนไพรใบเตยและตะไคร้ และไม่สามารถแยกความแตกต่างจากรสชาติของอุณหภูมิต่อรสชาติของน้ำชาสมุนไพรได้

4. สรุปผลการทดลอง

อัตราการอบแห้งของทั้งใบเตย และตะไคร้ จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น ระยะเวลาการอบแห้งสั้นลง เมื่อพิจารณาความเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งใบเตย และตะไคร้ พบว่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอบแห้ง โดยเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น ความเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นลง จากการตรวจวัดคุณภาพทางกายภาพของใบเตย และตะไคร้ภายหลังอบแห้งด้วยประสาธสัมผัส พบว่าใบเตยที่อบแห้งในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 40-60°C ใบเตยอบแห้งมีสีเขียวธรรมชาติ ส่วนตะไคร้อบแห้งมีสีน้ำตาลแดงเข้ม เมื่อนำมาชงเป็นชาทำให้ได้ชาที่มีกลิ่นธรรมชาติของใบเตย และตะไคร้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, (2540).
- [2] http://www.rspg.or.th/plants_data/herbs/herbs_12_2.htm
- [3] Tirawanichakul, S., Na Phatthalung and Tirawanichakul, Y. Drying strategy of shrimp using hot air convection and hybrid Infrared radiation/hot air convection. Walailak Journal of Science & Technology, 5(1): 77-100 (2008).
- [4] AOAC. Official Method of Analysis, 16th ed., The Association of Official Analytical Chemists, Inc. Arlington, Virginia, USA (1995).
- [5] Tirawanichakul, S., Linpo, P. and Tirawanichakul, Y. Influence of infrared and heat convection on drying kinetics of shrimp and quality. Thai Journal of Physics, 4: 116-120 (2009).
- [6] อนุสร นาดี, ยุทธนา ภูริระวีชัยกุล และสุภวรรณ ภูริระวีชัยกุล. จลนพลศาสตร์การอบแห้งใบเตยด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนและลมร้อน. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 17 (2): 86-94 (2555).
- [7] Nuthong, P., Acharyaviriya, A., Namsanguan, K. and Acharyaviriya, S. Kinetics and modeling of whole longan with combined infrared and hot air. Journal of Food Engineering, 102: 233-239 (2011).