

## การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์จีในการอบแห้งใบหม่อนแบบชั้นบาง Energy and Exergy Analyses of Thin Layer Drying of Mulberry Leaves

ณัฐพล ภูมิสะอาด<sup>1\*</sup> ละมุน วิเศษ<sup>1</sup> และ วิทวัส ทิพย์แสนพรหม<sup>2</sup>

<sup>1</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

โทรศัพท์/โทรสาร 043-745316 \*E-mail: [nattapol.p@msu.ac.th](mailto:nattapol.p@msu.ac.th)

<sup>2</sup>คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม 80 ถนนนครสวรรค์ ต.ตลาด อ.เมือง จ.มหาสารคาม 44000

โทรศัพท์/โทรสาร 0-4374-2620

Nattapol Poomsa-ad<sup>1\*</sup>, Lamul Wiset<sup>1</sup> and Wittawat Tipsanprom<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Khamriang, Kantarawichai, Mahasarakham, 44150, Thailand

Telephon/Fax: +66-43-754316 \*E-mail: [nattapol.p@msu.ac.th](mailto:nattapol.p@msu.ac.th)

<sup>2</sup>Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, 80 Nakhon Sawan Rd., Talad, Muang, Mahasarakham 44000

Telephone/Fax: +66-4374-2620

### บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์การอบแห้งชั้นบางของใบหม่อน โดยใช้กฎข้อที่หนึ่งและข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งต่อพลังงานและเอ็กเซอร์จีในการทดลองใช้อุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าห้องอบแห้ง 40 50 และ 60 °C ความเร็วลมที่ 0.3 m/s ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์และสัดส่วนของพลังงานที่เป็นประโยชน์มีค่าระหว่าง 0.020 ถึง 0.001 kJ/s และ 0.085 ถึง 0.001 ตามลำดับ ในส่วนของค่าเอ็กเซอร์จีที่สูญเสียและประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จีพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 1.017 ถึง 0.008 kJ/s และ 0.44 ถึง 0.99 ตามลำดับ ซึ่งค่าสัดส่วนของพลังงานที่เป็นประโยชน์มีค่าลดลง และประสิทธิภาพเอ็กเซอร์จีมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการอบแห้งนี้ยังมีประสิทธิภาพทางอุณหพลศาสตร์ที่ยังไม่ดี และมีพลังงานสูญเสียไปกับอากาศที่ทางออกมาก

### Abstract

The thin layer drying of mulberry leaves in convective type dryer is analysed by the first and second law of thermodynamics in this paper. The effects of drying temperature and drying times on energy and exergy were studied. Drying experiments were conducted at inlet drying air temperatures of 40, 50 and 60°C at drying air velocity of 0.3 m/s. The analytical results showed that the energy utilization and energy utilization ratio were found to be varied between 0.020 to 0.001 J/s and 0.085 to 0.001, respectively. The exergy loss and exergy efficiency were found to

be in the range of 1.017 to 0.085 kJ/s and 0.44 to 0.99, respectively. It was observed that the energy utilization ratio decreased and the exergy efficiency increased with the increase in drying time and drying temperature. It was indicated that the drying process was thermodynamically inefficient and a lot of energy was vented in the exhaust air..

### 1. บทนำ

หม่อนเป็นพืชที่เพาะปลูกมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เพื่อใช้ในการเลี้ยงไหม ซึ่งในบางครั้งผลผลิตไม่เพียงพอ โดยเฉพาะการเลี้ยง จึงได้มีการพัฒนาการเลี้ยงโดยใช้อาหารเทียมขึ้น ซึ่งส่วนประกอบหลักของอาหารเทียมคือ ใบหม่อนอบแห้งบดละเอียด ทำให้ในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งใบหม่อนขึ้นมาใช้งาน

ที่ผ่านมาการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเป็นการวิเคราะห์มักเป็นการวิเคราะห์ตามกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ อันได้แก่ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) ทั้งในส่วน ของระบบอบแห้งทั้งหมด หรือเฉพาะในส่วนห้องอบแห้ง ซึ่งค่าดังกล่าวไม่สามารถเปรียบเทียบสมรรถนะในด้านพลังงานของเครื่องอบแห้งแต่ละแบบได้ดีนัก โดยเฉพาะเครื่องอบแห้งที่ใช้แหล่งพลังงานที่แตกต่างกัน จึงมีการนำการวิเคราะห์ตามกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ หรือ การวิเคราะห์เอ็กเซอร์จีมาใช้ในการอบแห้ง เช่น เมล็ด Coroba[1] พักทอง[2] พริกแดงแห้ง[3]มะกอกเขียว[4] เอ็กเซอร์จี คือ การประเมินศักยภาพของการทำให้เกิดงานของระบบ หรือคุณภาพของพลังงานเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าเอ็กเซอร์จีสัมพันธ์กับการเกิดงานและการสูญเสียอันเนื่องมาจากการย้อนกลับ

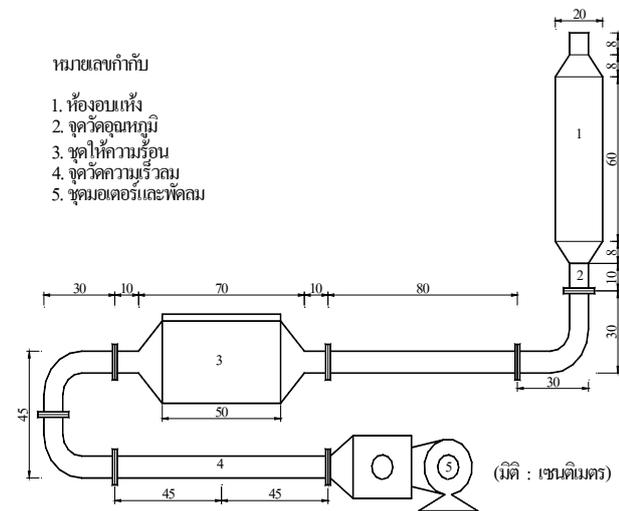
ไม่ได้ของระบบ การศึกษาเอกเซอร์จีจึงสามารถใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถของระบบทางอุณหพลศาสตร์ได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การอบแห้งใบหม่อนตามกฎข้อที่หนึ่งและสองของอุณหพลศาสตร์ โดยศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งต่อค่าพลังงานที่เป็นประโยชน์ ค่าสัดส่วนพลังงานที่เป็นประโยชน์ ค่าเอกเซอร์จีที่สูญเสีย และประสิทธิภาพเอกเซอร์จีของห้องอบแห้ง

## 2. อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

ใบหม่อนที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์มาจากศูนย์นวัตกรรมใหม่มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นใบหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ .60 นำใบหม่อนมาตัดหั่นกันใบทิ้งและนำเฉพาะใบมาหั่นให้มีความกว้างประมาณ 4-5 mm จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างส่วนหนึ่งไปทำการอบแห้งเพื่อหาความชื้นเริ่มต้นด้วยตู้อบไฟฟ้าโดยการอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อหาค่าความชื้นเริ่มต้น

ในการทดลองนำตัวใบหม่อนที่เตรียมไว้ประมาณ 100 g บรรจุในตะแกรงที่ทราบน้ำหนักซึ่งจะมีความสูงเบดประมาณ 2 cm นำมาอบแห้งในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ดังแสดงในรูปที่ 1 ปรับความเร็วลมที่ใช้อบแห้งประมาณ 0.3 m/s โดยใช้ Hot wire anemometer จากนั้นจะทำการนำตะแกรงบรรจุใบหม่อนออกจากห้องอบแห้งทำการชั่งน้ำหนักใบหม่อนที่ทุก 3 นาที จนครบ 30 นาที เปลี่ยนเป็นทุก 5 นาที จนครบ 120 นาที และเปลี่ยนเป็นทุก 10 นาทีจนกระทั่งน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยมากจึงหยุดการทดลอง โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 40 50 และ 60°C ระหว่างการทดลองวัดและบันทึกอุณหภูมิกระเปาะเปียก และกระเปาะแห้งของบรรยากาศ ทางเข้าและทางออกของห้องอบแห้ง โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K ร่วมกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ



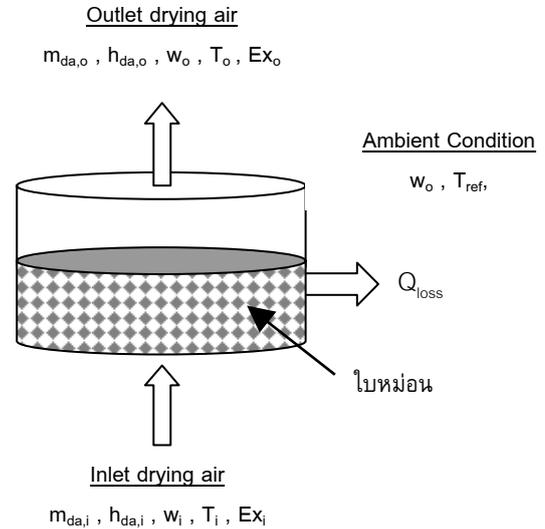
รูปที่ 1 ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่ใช้ในการทดลอง

## 3. การวิเคราะห์พลังงานตามกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์

ในงานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะในส่วนของห้องอบแห้ง รูปที่ 2 แสดงระบบปริมาตรควบคุมที่ใช้ในการวิเคราะห์ และสัญลักษณ์ของตัวแปรต่าง ๆ สมดุลย์มวลของระบบ สามารถแบ่งออกเป็น สองส่วนคือ

สมดุลย์มวลของอากาศแห้งที่ไหลเข้าออกระบบและสมดุลย์ของน้ำที่ระเหยจากใบหม่อนไปสู่กระแสอากาศ ซึ่งสมดุลย์มวลอากาศแห้งเป็นไปตามสมการ

$$\dot{m}_{da,i} = \dot{m}_{da,o} = \dot{m}_{da} \quad (1)$$



รูปที่ 2 ปริมาตรควบคุมบริเวณห้องอบแห้ง

และจากสมมติฐานระหว่างการอบแห้งที่มวลของใบหม่อนที่ลดลงคือ น้ำจากใบหม่อนที่ระเหยไปสู่อากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ดังนั้นสมดุลย์มวลของน้ำเป็นไปตามสมการ

$$\frac{m_{p,t} - m_{p,t+\Delta t}}{\Delta t} = \dot{m}_w = \dot{m}_{da} (w_o - w_i) \quad (2)$$

ในส่วนวิเคราะห์สมดุลย์พลังงานของระบบปริมาตรควบคุม ซึ่งอากาศที่ใช้ในการอบแห้งถ่ายเทความร้อน มาใช้ที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากใบหม่อน และมีการสูญเสียความร้อนบางส่วนออกจากระบบ ดังแสดงในรูปที่ 2

เมื่อพิจารณาถึงค่าพลังงานที่เป็นประโยชน์ (Energy Utilization: EU) [1][2][5] ซึ่งคือความร้อนที่ถ่ายเทจากอากาศชื้นที่ไหลเข้าออกจากห้องอบแห้ง หาได้จากสมการ

$$EU = \dot{m}_{da} (h_{da,i} - h_{da,o}) \quad (3)$$

โดยที่เอนทัลปีของอากาศชื้น[1][2][5] สามารถหาได้จากสมการ

$$h_{da} = (1.004 + 1.88w)(T - T_{ref}) + h_{fg} w \quad (4)$$

เมื่อ T คืออุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ และ w คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศ ซึ่งได้จากการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งจากการทดลอง

ในการอบแห้งในเครื่องนี้ อากาศชื้นจากบรรยากาศถูกทำให้ร้อนขึ้นจนถึงอุณหภูมิอบแห้งที่เท่ากับอุณหภูมิที่ทางเข้าของห้องอบแห้ง ดังนั้นพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ทั้งหมด [1] หาได้จากสมการ

$$\dot{Q}_u = \dot{m}_{da} (h_{da,i} - h_{da,e}) \quad (5)$$

และสัดส่วนพลังงานที่เป็นประโยชน์ (Energy Utilization Ratio: EUR) [1][2][5]สามารถหาได้จากสมการ

$$EUR = \frac{EU}{\dot{Q}_u} = \frac{\dot{m}_{da} (h_{da,i} - h_{da,o})}{\dot{m}_{da} (h_{da,i} - h_{da,ref})} \quad (6)$$

### 3. การวิเคราะห์พลังงานตามกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์

ในระบบปริมาตรควบคุมในห้องอบแห้งดังรูปที่ 2 จากที่กล่าวมาแล้วว่าพลังงานที่ถ่ายเทภายในห้องอบแห้งมาจากอากาศ ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่าเอนโทรปีของอากาศที่ไหลเข้าออกห้องอบแห้ง โดยสมมุติอากาศเป็นก๊าซในอุดมคติ สามารถหาได้จากสมการ[1][2][5]

$$Ex = \dot{m}_{da} c_{p,da} \left[ (T - T_{ref}) - T_{ref} \ln \frac{T}{T_{ref}} \right] \quad (7)$$

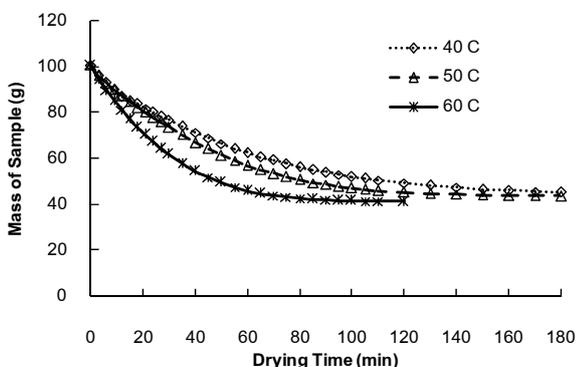
ดังนั้นเอนโทรปีที่สูญเสียสามารถหาได้จากความแตกต่างของเอนโทรปีที่ไหลเข้าออกห้องอบแห้ง ดังสมการ

$$Ex_{loss} = Ex_i - Ex_o \quad (8)$$

และประสิทธิภาพเอนโทรปีของห้องอบแห้ง [1][2][5] สามารถหาได้จากสมการ

$$\eta_{ex} = \frac{Ex_i - Ex_{loss}}{Ex_i} = 1 - \frac{Ex_{loss}}{Ex_i} \quad (9)$$

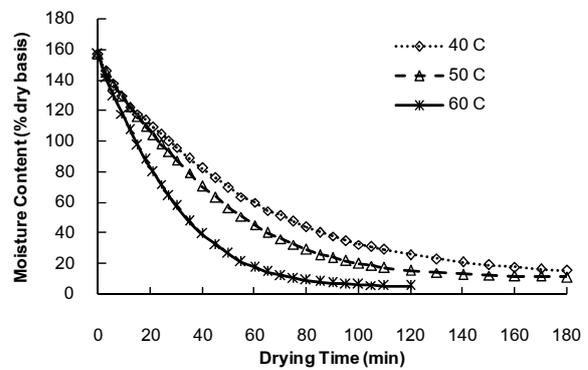
### 4 ผลการทดลองและวิจารณ์



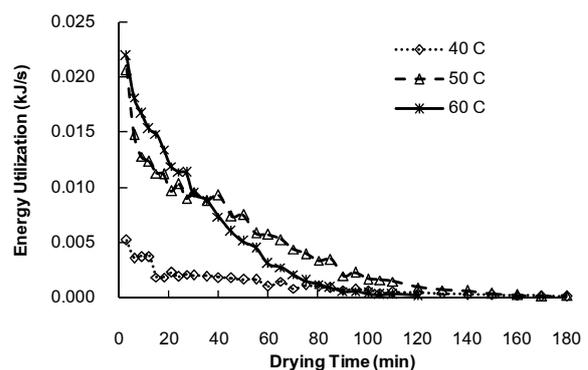
รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงมวลของใบหม่อนกับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จากรูปที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงมวลของใบหม่อนระหว่างการอบแห้ง พบว่า จากมวลเริ่มต้นประมาณ 100 g เมื่ออบแห้งไปได้ประมาณ 180 นาทีสำหรับอุณหภูมิ 40 และ 50°C และ 120 นาทีสำหรับอุณหภูมิ 60°C มวลของใบหม่อนจะเริ่มคงที่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำในใบหม่อนไม่มีการระเหย มวลสุดท้ายหลังการอบแห้งคือ 41 43 และ 45 g สำหรับอุณหภูมิ 40 50 และ 60°C ตามลำดับ

เมื่อนำผลการทดลองจากรูปที่ 3 มาคำนวณหาความชื้นที่เวลาต่าง ๆ โดยตั้งแสดงในรูปที่ 4 พบว่า ความชื้นเริ่มต้นของใบหม่อน ประมาณ 156 ถึง 159 %dry basis เมื่ออบแห้งถึงจุดที่มวลไม่เปลี่ยนแปลงซึ่งแสดงถึง ค่าความชื้นสมดุลย์ของใบหม่อนจะมีค่า 15.8 11.9 และ 5.2%dry basis สำหรับอุณหภูมิ 40 50 และ 60°C ตามลำดับ ใกล้เคียงกับผลการทดลองในงานวิจัยที่ผ่านมา [6] ซึ่งความชื้นสมดุลย์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง และจากลักษณะกราฟ ที่ไม่พบช่วงที่เป็นเส้นตรง แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งใบหม่อนอยู่ในช่วงการอบแห้งลดลงเท่านั้น



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของใบหม่อนกับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เป็นประโยชน์กับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

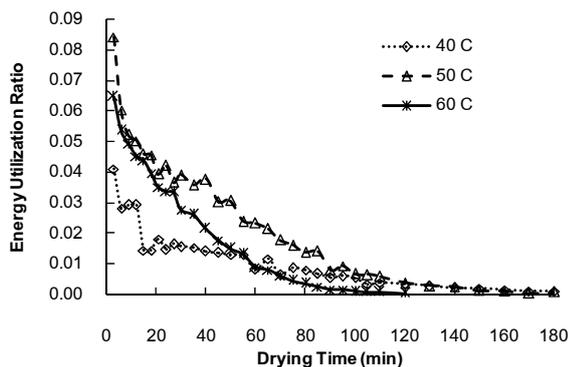
เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาคำนวณหาพลังงานที่เป็นประโยชน์ ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่าค่าพลังงานที่เป็นประโยชน์ในช่วงแรกของการอบแห้งมีค่าประมาณ 0.020 kJ/s สำหรับอุณหภูมิ 50 และ 60 C มีค่าประมาณ 0.005 kJ/s สำหรับอุณหภูมิ 40 C แล้วลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง โดยเฉพาะในช่วงท้ายของการอบแห้งมีค่า

ต่ำมากประมาณ 0.001 kJ/s เนื่องจากปริมาณการระเหยของน้ำจากผลิตภัณฑ์ที่น้อยมากในช่วงที่เข้าสู่ความชื้นสมดุล และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งพบว่า ในช่วงต้นของการอบแห้งอุณหภูมิ 40°C แตกต่างกับที่ 50 และ 60°C อย่างเห็นได้ชัด แต่อุณหภูมิ 50 และ 60°C แตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลเนื่องจาก เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของใบหม่อนและกระแสอากาศจะมีค่ามาก ส่งผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น ทำให้มีค่าพลังงานที่เป็นประโยชน์สูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

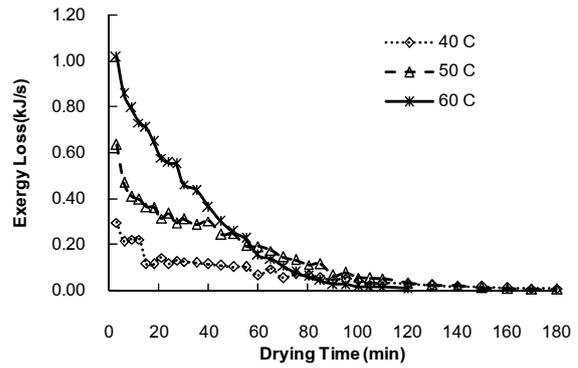
ในส่วนของค่าสัดส่วนพลังงานที่เป็นประโยชน์พบว่ามีแนวโน้มของผลการทดลองคล้ายกับค่าพลังงานที่เป็นประโยชน์ ดังแสดงในรูปที่ 6 ช่วงแรกของการอบแห้งมีค่าประมาณ 0.045 0.065 และ 0.085 สำหรับอุณหภูมิ 40 50 และ 60°C ตามลำดับ แล้วลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง จนเหลือค่าประมาณ 0.001

และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าผลการทดลองในส่วนของค่าพลังงานที่เป็นประโยชน์ และสัดส่วนของพลังงานที่เป็นประโยชน์ได้มีแนวโน้มที่เหมือนกันกับงานวิจัยที่ผ่านมา [1] [2] แต่อย่างไรก็ตามค่าพลังงานที่เป็นประโยชน์และสัดส่วนพลังงานที่เป็นประโยชน์ที่มีค่าต่ำ แสดงให้เห็นว่ากระบวนการอบแห้งนี้ยังมีประสิทธิภาพทางอุณหพลศาสตร์ที่ยังไม่ดี และมีพลังงานสูญเสียไปกับอากาศที่ทางออกมา

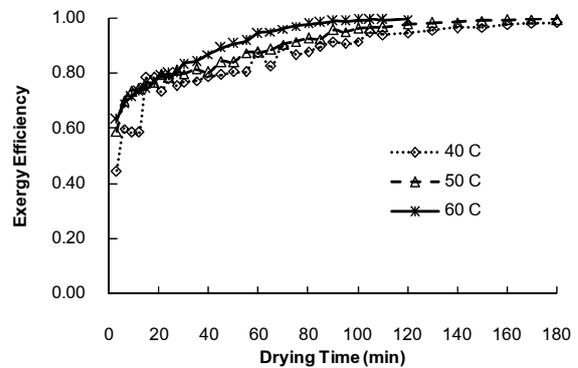
จากรูปที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าเอกเซอร์จีที่สูญเสีย พบว่ามีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และที่อุณหภูมิต่ำจะยิ่งมีค่าเอกเซอร์จีสูญเสียมากกว่าที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากในกระบวนการอบแห้งเป็นการถ่ายเทความร้อน จากกระแสอากาศร้อนไปยังผลิตภัณฑ์ซึ่งเมื่อพิจารณาตามกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์การถ่ายเทความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิสูงมาที่อุณหภูมิต่ำมีศักยภาพที่ทำให้เกิดงาน แต่ในกระบวนการอบแห้งนั้นไม่มีงานเกิดขึ้น ดังนั้นค่าเอกเซอร์จีสูญเสียจึงขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทความร้อน ทำให้มีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนพลังงานที่เป็นประโยชน์กับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงค่าเอกเซอร์จีที่สูญเสียกับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงค่าประสิทธิภาพเอกเซอร์จีกับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เมื่อนำค่าเอกเซอร์จีที่สูญเสียมาคำนวณค่าประสิทธิภาพเอกเซอร์จีตามสมการที่ 9 และแสดงในรูปที่ 8 พบว่าค่าประสิทธิภาพเอกเซอร์จีเพิ่มขึ้นตามเวลา และอุณหภูมิต่ำที่ใช้ในการอบแห้ง เมื่อพิจารณาในช่วงท้ายของการอบแห้ง ซึ่งเป็นช่วงที่มีการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปใช้ในการระเหยน้ำในผลิตภัณฑ์ที่น้อยมาก แต่พบว่า ค่าประสิทธิภาพเอกเซอร์จีมีค่าประมาณ 0.99 แสดงให้เห็นว่า พลังงานความร้อนที่สูญเสียผ่านผนังห้องอบแห้งมีค่าน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิต่ำที่ใช้ในการอบแห้งไม่แตกต่างจากอุณหภูมิบรรยากาศมากนัก

## 5. สรุป

จากวิเคราะห์การอบแห้งใบหม่อนตามกฎข้อที่หนึ่งและสองของอุณหพลศาสตร์ พบว่า

1. ค่าพลังงานที่เป็นประโยชน์ และสัดส่วนของพลังงานที่เป็นประโยชน์มีค่าลดลงตามเวลา และอุณหภูมิต่ำในการอบแห้ง
2. ค่าเอกเซอร์จีที่สูญเสีย พบว่ามีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และที่อุณหภูมิต่ำจะยิ่งสูงขึ้น
3. ค่าประสิทธิภาพเอกเซอร์จีเพิ่มขึ้นตามเวลา และอุณหภูมิต่ำที่ใช้ในการอบแห้ง และมีค่าประมาณ 0.9 ในช่วงท้ายของการอบแห้ง

- เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพเอกเซอร์จีที่แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิ 60 °C มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการอบแห้ง ใบหม่อน

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่สนับสนุนทุนวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

- Corzo, O., Bracho, N., Vásquez, A. and PereiraVoller, A., "Energy and exergy analyses of thin layer drying of coroba slices," Journal of Food Engineering, Vol 86, pp. 151-161, 2008.
- Kavak Akpınar, E., Midilli, A. and Bicer, Y., "The first and second law analyses of thermodynamic of pumpkin drying process," Journal of Food Engineering, Vol 72, pp. 320-331, 2006.
- Kavak Akpınar, E., "Energy and exergy analyses of drying of red pepper slices in a convective type dryer," International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol 31, pp. 1165-1176, 2004.
- Colak, N. and Hepbasli, A., "Performance analysis of drying of green olive in a tray dryer," Journal of Food Engineering, Vol 80, pp. 1188-1193, 2007.
- รัฐศักดิ์ พรหมมาศ, ไชยณรงค์ จักรธรานนท์ และผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, "การวิเคราะห์พลังงานและเอกเซอร์จีในกระบวนการอบแห้งวัสดุพรุณหลายชั้นโดยใช้ลมร้อน," การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23 วันที่ 4-7 พฤษภาคม 2552, Paper No. TSF-043357
- ณัฐพล ภูมิสะอาด ธนากร บุรณเพชร และเจริญพร เลิศสถิตธนกร, "สมการจลศาสตร์การอบแห้งใบหม่อน," รายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17 จังหวัดปราจีนบุรี, 15 – 17 ตุลาคม 2546, Paper No. IA-009