การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

การวิเคราะห์พลังงานและเอกเซอร์จีในการอบแห้งข้าวเหนียวนึ่งสุกแบบชั้นบางด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

Energy and Exergy Analyses of Thin Layer Drying of Cooked Glutinous Rice under Superheated Steam

ณัฐพล ภูมิสะอาด* และ ละมุล วิเศษ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
* ติดต่อ: โทรศัพท์/โทรสาร 043-745316
E-mail: nattapol.p@msu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์การอบแห้งข้าวเหนียวนึ่งสุกแบบชั้นบางด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งโดยใช้กฎข้อที่หนึ่งและข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งต่อพลังงานและเอกเซอร์จี ในการทดลองใช้อุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ทางเข้าห้องอบแห้ง130 150 และ 170 °C ความเร็วคงที่ 1.0 m/s ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเหนียวนึ่งสุกประมาณ 60% มาตรฐานแห้ง ใช้ข้าวเหนียวนึ่งสุกในแต่ละการทดลองประมาณ 150 g (ความหนาของเบดประมาณ 1.5 cm) ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าพลังงานที่เป็นประโยชน์ สัดส่วนของพลังที่เป็นประโยชน์และค่าเอกเซอร์จีที่สูญเสียมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการอบแห้ง ค่าประสิทธิภาพเอกเซอร์จีมีค่าอยู่ระหว่าง 0.95 ถึง 0.99 ค่าพลังงานที่เป็นประโยชน์และสัดส่วนของพลังที่เป็นประโยชน์แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ 150 °C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเหนียวนึ่งสุกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

คำหลัก: ประสิทธิภาพตามกฎข้อที่สอง / อบแห้งไร้อากาศ / ประสิทธิภาพการอบแห้ง

Abstract

The thin layer drying of cooked glutinous rice under superheated steam 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 130, 150 and 170°C at drying media velocity of 1.0 m/s. The initial moisture content of glutinous rice was about 60% dry basis. A sample approximately 150 g (bed thickness: 1.5 cm) was prepared for each drying experiment. The analytical results showed that the energy utilization, energy utilization ratio and exergy loss were rapidly decreased in the early drying period. The exergy efficiency was found to be in the range of 0.95 to 0.99. The energy utilization and energy utilization ratio indicated that the drying temperature of 150 °C was suitable for drying of cooked glutinous rice under superheated steam.

Keywords: The second's law efficiency / Airless drying / Drying efficiency

1. บทนำ

ข้าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของเมืองไทย ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเป็นบริเวณที่มีการเพาะปลูกข้าวเหนียวเพื่อการบริโภคภายในท้องถิ่นจำนวนมาก ปัจจุบันนี้ได้มีการส่งออกข้าวเหนียวนึ่งตากแห้งทั้งในแบบสำเร็จรูปเพื่อนำไปแปรรูปสินค้าเพื่อการบริโภค เช่น การทำข้าวพองสไตล์ญี่ปุ่น (Japanese puffed rice) ปัญหาที่พบในการส่งออกข้าวเหนียวนึ่งตากแห้ง คือ เชื้อราในผลิตภัณฑ์ ระยะเวลาในการตากแห้งนานจนไม่สามารถวางแผนในการผลิตได้เนื่องจากปริมาณแสงแดดที่ไม่แน่นอน การอบแห้งข้าวเหนียวนึ่งจึงเป็นทางออกในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้ โดยทั่วไปโดยวิธีเป่าอากาศร้อนมีความสิ้นเปลืองพลังงานสูงกว่าวิธีการตากแห้งแต่สามารถชดเชยในเรื่องเวลาการอบแห้ง โดยการอบแห้งแบบมีการเป่าอากาศร้อนจะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นมากกว่าและความสามารถในการอบแห้งสูง จากงานวิจัยต่างๆ การอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีข้อดีคือ มีอากาศอยู่ในระบบน้อยมากจึงไม่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์บางชนิดดีขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถฆ่าเชื้อโรคหรือกำจัดกลิ่นอาหารได้อีกด้วย [1] การใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งในการอบแห้งเป็นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับในกรณีที่มีระบบผลิตไอน้ำในกระบวนการและยังมีไอน้ำเหลือใช้หรือจำเป็นต้องปล่อยไอน้ำบางส่วนทิ้งไป ไอน้ำทิ้งยังมีความร้อนจำเพาะที่สูงสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อีก ดังนั้นการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับกรรมวิธีการอบแห้ง

ที่ผ่านมาการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งมักเป็นการวิเคราะห์ตามกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ อันได้แก่ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) ทั้งในส่วนของระบบอบแห้งทั้งหมด หรือเฉพาะในส่วนของห้องอบแห้ง ซึ่งค่าดังกล่าวไม่สามารถเปรียบเทียบสมรรถนะในด้านพลังงานของเครื่องอบแห้งแต่ละแบบได้ดีนัก โดยเฉพาะเครื่องอบแห้งที่ใช้แหล่งพลังงานที่แตกต่างกัน จึงมีการนำการวิเคราะห์ตามกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ หรือ การวิเคราะห์เอกเซอร์จีมาใช้กับการอบแห้ง เช่น เมล็ด Coroba [2] ฟักทอง [3] พริกแดงหั่น [4] มะกอกเขียว [5] เอกเซอร์จี คือ การประเมินศักยภาพของการทำให้เกิดงานของระบบ หรือคุณภาพของพลังงานเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าเอกเซอร์จีสัมพันธ์กับการเกิดงานและการสูญเสียอันเนื่องมาจากการย้อนกลับไม่ได้ของระบบ การศึกษาเอกเซอร์จีจึงสามารถใช้เป็นการวิเคราะห์ความสามารถของระบบทางอุณหพลศาสตร์ได้

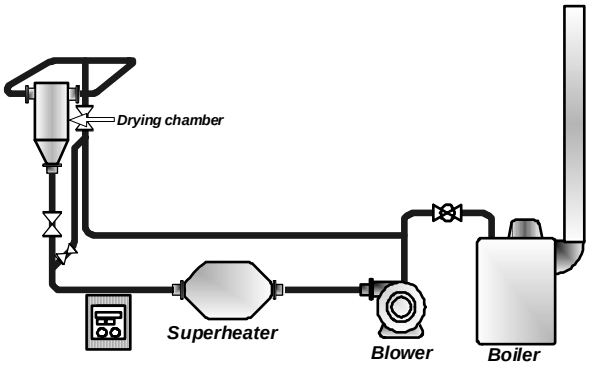
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์การอบแห้งข้าวเหนียวนึ่งสุกแบบชั้นบางด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งโดยใช้กฎข้อที่หนึ่งและข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งต่อค่าพลังงานที่เป็นประโยชน์ ค่าสัดส่วนพลังงานที่เป็นประโยชน์ ค่าเอกเซอร์จีที่สูญเสีย และประสิทธิภาพเอกเซอร์จีของห้องอบแห้ง

2. อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

วัตถุดิบในการทดลองครั้งนี้คือข้าวเหนียวพันธุ์ กข.6 นำข้าวเหนียวมาแช่น้ำ 4 ชม. ที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการนึ่ง หลังจากนั้นนำมานึ่ง ด้วยเครื่องนึ่งข้าวเหนียวด้วยไอน้ำ ประมาณ 10 นาที แล้วนำไปใส่ภาชนะปิดเป็นเวลา 12 ชม. เพื่อทำให้ข้าวเหนียวร่วนไม่เกาะตัวกันมากนัก ก่อนนำไปอบแห้ง

สำหรับระบบการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งแสดงในรูปที่ 1 ระบบการอบแห้งของไอน้ำร้อนยวดยิ่งประกอบด้วย ถังความดันผลิตไออิ่มตัวที่ความดันบรรยากาศ พัดลมความดันสูงใบพัดโค้งหลัง ชุดให้ความร้อนเพื่อทำให้ไอน้ำร้อนอิ่มตัวเป็นไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ห้องอบแห้ง อัตราการไหลของตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้งควบคุมโดยการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์และระบบท่อไอน้ำ การทำงานของระบบเริ่มต้นจาก

การอุ่นระบบโดยให้ความร้อนแก่อากาศร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ เพื่อเป็นการป้องกันการกลั่นตัวของไอน้ำภายในระบบอบแห้งขณะทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เมื่อระบบคงที่ปิดวาล์วปล่อยไอน้ำอิ่มตัวจากถังความดันเข้าสู่หน่วยให้ความร้อน โดยพัดลมความดันสูงเพื่อเปลี่ยนสภาวะจากไออิ่มตัวเป็นไอน้ำร้อนยวดยิ่งจากนั้นจะส่งไอน้ำร้อนยวดยิ่งเข้าสู่ห้องอบแห้ง



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

ในการทดลองนำข้าวเหนียวนึ่งสุกเข้าในห้องอบแล้วประมาณ 150 กรัม อุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 130, 150 และ 170^{0}C ความเร็วของตัวกลางเข้าสู่ห้องอบ 1 เมตร/วินาที โดยบันทึกน้ำหนักผลิตภัณฑ์ 0.33 0.66 1 1.5 2 3 6 9 12 และ 15 นาที แต่ละอุณหภูมิทำการทดลอง 3 ครั้ง

3. การวิเคราะห์พลังงานตามกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์

ในงานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะในส่วนของห้องอบแห้ง รูปที่ 2 แสดงระบบปริมาตรควบคุมที่ใช้ในการวิเคราะห์ และสัญลักษณ์ของตัวแปรต่าง ๆ

จากสมมุติฐานระหว่างการอบแห้งที่มวลของข้าวเหนียวนึ่งสุกที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการอบแห้งเท่ากับการเปลี่ยนแปลงของไอน้ำที่ไรเจ้าออกห้องอบแห้ง ดังนั้นสมดุลย์มวลของน้ำเป็นไปตามสมการ

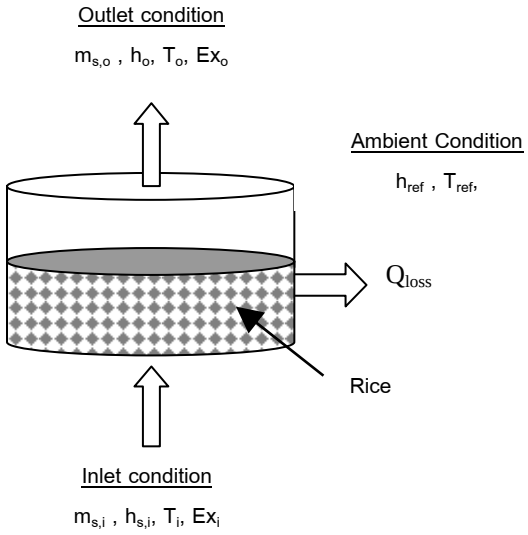
$$\frac{m_{p,t} - m_{p,t+\Delta t}}{\Delta t} = \dot{m}_{s,o} - \dot{m}_{s,i} \qquad (1)$$

เมื่อ $m_{p,t}$ คือ มวลของข้าวเหนียวเมื่อเวลา t, kg

$m_{p,t+\Delta t}$ คือ มวลของข้าวเหนียวเมื่อเวลา t+Δt, kg

$\dot{m}_{s,o}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำขาออกจากห้องอบแห้ง, kg/s

$\dot{m}_{s,i}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำขาเข้าจากห้องอบแห้ง, kg/s



รูปที่ 2 ปริมาตรควบคุมบริเวณห้องอบแห้ง

เมื่อพิจารณาถึงค่าพลังงานที่เป็นประโยชน์ (Energy Utilization: EU) [2][3][6] ซึ่งคือความร้อนที่ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ถ่ายเทไปให้ผลิตภัณฑ์ หาได้จากสมการ

$$EU = \dot{m}_{s,i}h_i - \dot{m}_{s,o}h_o \qquad (2)$$

เมื่อ EU คือ พลังงานที่เป็นประโยชน์ kJ/s

h_i คือ เอนทัลปีของไอน้ำขาเข้า, kJ/kg

h_o คือ เอนทัลปีของไอน้ำขาออก, kJ/kg

ในการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนั้นเมื่อไอน้ำเคลื่อนที่ผ่านผลิตภัณฑ์ การอบแห้งจะเกิดขึ้นจนกระทั่งไอน้ำมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่จุดอิ่มตัว ดังนั้นพลังงานความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทั้งหมด (Useful Heat) ของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งสามารถ

$$Q_u = \dot{m}_{s,i}h_i - \dot{m}_{s,o}h_{T@Tsat}) \quad (3)$$

เมื่อ Q_u คือ พลังงานความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทั้งหมด, kJ/s

$h_{T@Tsat})$ คือ เอนทัลปีของไอน้ำที่อุณหภูมิอิ่มตัว, kJ/kg

สัดส่วนพลังงานที่เป็นประโยชน์ (Energy Utilization Ratio: EUR) [2][3][6] สามารถหาได้จากสมการ

$$EUR = \frac{EU}{Q_u} = \frac{\dot{m}_{s,i}h_i - \dot{m}_{s,o}h_o)}{\dot{m}_{s,i}h_i - \dot{m}_{s,o}h_{T@Tsat})} \quad (4)$$

เมื่อ EUR คือ สัดส่วนพลังงานที่เป็นประโยชน์

4. การวิเคราะห์พลังงานตามกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์

เอกเซอร์จีที่สูญเสียสามารถหาได้จากความแตกต่างของเอกเซอร์จีที่ไหลเข้าออกห้องอบแห้ง ดังสมการ

$$\text{Exergy loss} = \dot{m}_{s,i}Ex_i - \dot{m}_{s,o}Ex_o \quad (5)$$

เมื่อ Exergy loss คือ เอกเซอร์จีที่สูญเสีย, kJ/kg

Ex_i คือ เอกเซอร์จีของไอน้ำที่ทางเข้า, kJ/s

Ex_o คือ เอกเซอร์จีของไอน้ำที่ทางออก, kJ/s

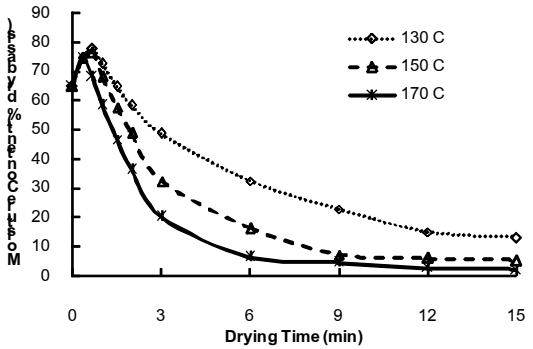
ประสิทธิภาพเอกเซอร์จีของห้องอบแห้ง [1][2][5] สามารถหาได้จากสมการ

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{m}_{s,o}Ex_o}{\dot{m}_{s,i}Ex_i} \quad (6)$$

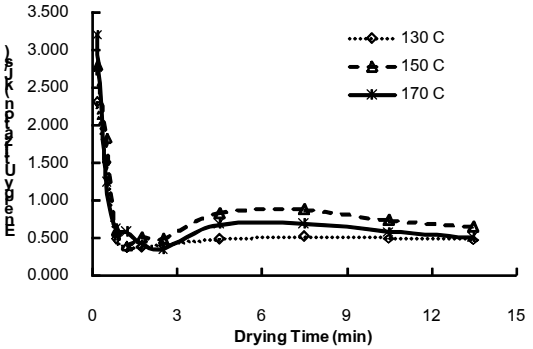
เมื่อ η_{ex} คือ ประสิทธิภาพเอกเซอร์จี

5. ผลการทดลองและวิจารณ์

รูปที่ 3. แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่เวลาใดๆ ระหว่างการอบแห้งพบว่า ในช่วงเริ่มต้น (30 วินาทีแรก)ของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งความชื้นเพิ่มขึ้นอยู่10 – 15 % มาตรฐานแห้ง เนื่องจากในช่วงแรกของการอบแห้ง อุณหภูมิผิวของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำ ทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำที่ใช้ในการอบแห้งที่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ หลังจากที่ความชื้นเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดแล้วความชื้นลดลงตามเวลาในรูปแบบของเอ็กซ์โพเนนเทียล ผลการทดลองที่ได้คล้ายกับที่พบโดย Tang,Z[9] และ Taechapairoj,C[10]เมื่อเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งพบว่าอุณหภูมิสูงมีการอบแห้งรวดเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ แต่อย่างไรก็ตามอัตราการอบแห้งที่ 150 C แตกต่างจากที่ 170 C เล็กน้อย



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเหนียวกับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

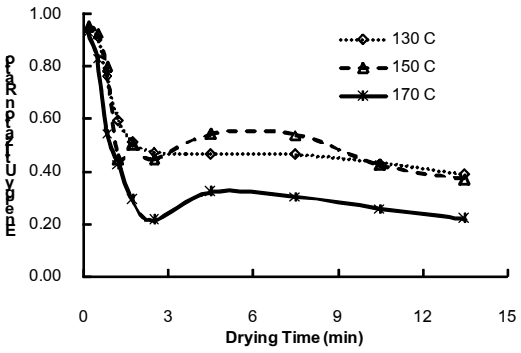


รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เป็นประโยชน์กับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

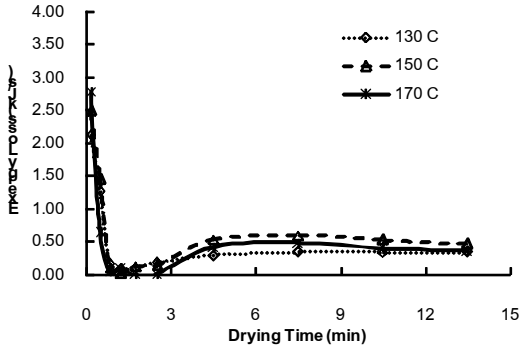
เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาคำนวณหาค่าพลังงานที่เป็นประโยชน์ ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ซึ่งเป็นช่วงที่พลังงานจากไอน้ำถูกนำไปใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุ ที่เกิดจากการควบแน่นของไอน้ำ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้ใช้พลังงานอย่างรวดเร็ว ส่วนในช่วงท้ายของการอบแห้งนั้นค่าพลังงานที่เป็นประโยชน์จะมีค่าลดลงเนื่องจากพลังงานถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำจากวัสดุ ซึ่งมีการระเหยอย่างช้า ๆ โดยในช่วงแรกของการอบแห้งค่าพลังงานที่เป็น

ประโยชน์ที่อุณหภูมิอบแห้งต่าง ๆ ให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามภายหลังอบแห้งไปแล้ว 3 นาทีอุณหภูมิ 150 °C มีค่าพลังงานที่เป็นประโยชน์มากที่สุดเนื่องจากการสูญเสียพลังงานน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 170 °C ในส่วนของค่าสัดส่วนพลังงานที่เป็นประโยชน์พบว่ามีแนวโน้มของผลการทดลองคล้ายกับค่าพลังงานที่เป็นประโยชน์ ดังแสดงในรูปที่ 5 อุณหภูมิ 150 °C จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งข้าวเหนียวนึ่งสุก

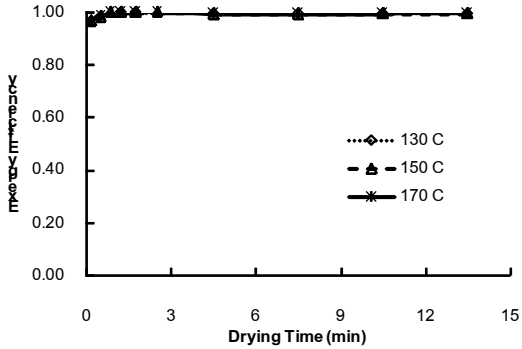
จากรูปที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าเอกเซอร์จีที่สูญเสีย พบว่าในช่วงแรกของมีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบแห้งอย่างรวดเร็ว แล้วจึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยก่อนจะลดลงอย่างช้า ๆ ในช่วงท้ายของการอบแห้ง อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งไม่มีผลต่อค่าเอกเซอร์จีที่สูญเสียเนื่องจากในกระบวนการอบแห้งเป็นการถ่ายเทความร้อน จากตัวกลางไปยังผลิตภัณฑ์ซึ่งเมื่อพิจารณาตามกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์การถ่ายเทความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิสูงมาที่อุณหภูมิต่ำมีศักยภาพที่ทำให้เกิดงาน แต่ในกระบวนการอบแห้งนั้นไม่มีงานเกิดขึ้น ดังนั้นค่าเอกเซอร์จีสูญเสียจึงขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทความร้อน ทำให้มีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนพลังงานที่เป็นประโยชน์กับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่าเอกเซอร์จีที่สูญเสียกับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงค่าประสิทธิภาพเอกเซอร์จีกับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่า ค่าประสิทธิภาพเอกเซอร์จีที่อุณหภูมิต่างมีค่าไม่แตกต่างกันพบว่าค่าประสิทธิภาพเอกเซอร์จีเพิ่มขึ้นตามเวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง เมื่อพิจารณาในช่วงท้ายของการอบแห้ง ซึ่งเป็นช่วงที่มีการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปใช้ในการระเหยน้ำในผลิตภัณฑ์น้อยมาก แต่พบว่า ค่าประสิทธิภาพเอกเซอร์จีมีค่าประมาณ 0.99 แสดงให้เห็นว่า พลังงานความร้อนที่สูญเสียผ่านผนังห้องอบแห้งมีค่าน้อย ทั้งนี้เป็นเพราะในช่วงท้าย ๆ ของการอบแห้งค่าเอกเซอร์จีที่สูญเสียมีค่าน้อยทำให้ประสิทธิภาพเอกเซอร์จีมีค่าสูง

6. สรุป

จากวิเคราะห์การอบแห้งข้าวเหนียวนึ่งสุกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามกฎข้อที่หนึ่งและสองของอุณหพลศาสตร์ พบว่า

1. ค่าพลังงงานที่เป็นประโยชน์ และสัดส่วนของพลังงานที่เป็นประโยชน์มีค่าลดลงตามเวลา และอุณหภูมิที่เหมาะสมการอบแห้งคือ 150 °C
2. ค่าเอกเซอร์จีที่สูญเสีย พบว่ามีค่าลดลงตามเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และที่อุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น
3. ค่าประสิทธิภาพเอกเซอร์จีเพิ่มขึ้นตามเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง และมีค่าประมาณ 0.9 ในช่วงท้ายของการอบแห้ง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่สนับสนุนทุนวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Iyota, H., Nishimura, N., Onuma and Nomura, T. (2001). Drying of Sliced Raw Potatoes in Superheated Steam and Hot Air. *Drying Technology*. Vol. 19, No.7. pp. 1411-1424

[2] Corzo, O., Bracho, N., Vásquez, A. and PereiraVoller, A.. (2008) Energy and exergy analyses of thin layer drying of coroba slices, *Journal of Food Engineering*, Vol 86, pp. 151-161

[3] Kavak Akpinar, E., Midilli, A. and Bicer, Y. (2006) The first and second law analyses of thermodynamic of pumpkin drying process, *Journal of Food Engineering*, Vol 72, pp. 320-331,

[4] Kavak Akpinar, E. (2004) 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

[5] Colak, N. and Hepbasli, A., (2007) Performance analysis of drying of green olive in a tray dryer, *Journal of Food Engineering*, Vol 80, pp. 1188-1193

[6] Tang, Z.; Cenkowski, and Muir, W. E., (2004) Modelling the Superheated-steam Drying of a Fixed Bed of Brewers' Spent Grain, *Biosystems Engineering*, Vol. 80, pp. 66-77.

[7] Taechapairoj, C., Dhuchakallaya, I., Soponronnarit, S., Wetchacama, S., and Prachayawarakorn, S., (2003) Superheated Steam Fluidised Bed Paddy Drying, *Journal of Food Engineering*, Vol. 58, pp. 67-73.