ผลของปริมาณปลานิลที่มีต่อเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสม

Effect of *Tilapia nilotica* Quantity on Appropriate Drying Conditions

ธนกร หอมจำปา[1] อำไพศักดิ์ ทีบุญมา[2] ประพันธ์พงษ์ สมศิลา[1] และ ประทีป ตุ้มทอง[1]

Tanagorn Homchampa[1], Umphisak Teeboonma[2], Praphanpong Somsila[1] and Prateep Toomthong[1]

Abstract

In this research was to develop mathematical model of *Tilapia nilotica* drying by using forced convection solar dryer and validated with the experimental. Subsequently, this mathematical model was utilized as tool in the optimization program to study the effect of *T. nilotica* quantity on appropriate drying conditions. Qualities of *T. nilotica* were varied from 1-5 kg. The objective function to search for appropriate drying conditions was the minimum specific energy consumption, which was subjected to four major constrains were drying temperature, air flow rate, recycle air ratio, and drying time. The appropriate drying conditions were sought using the grid search method. The study results showed that the simulation results were in reasonable agreement with the experimental results. Additionally, the increase of *T. nilotica* quantity causes an increase of air flow rate and a decrease of specific energy consumption.

Keywords: mathematical model, *Tilapia nilotica*, appropriate drying condition

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์การอบแห้งปลานิล ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนอากาศแบบบังคับและตรวจสอบความถูกต้องโดยเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับผลการทดลอง หลังจากนั้นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นได้นำไปใช้ในโปรแกรมการหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสม เพื่อศึกษาผลของปริมาณปลานิลที่มีต่อเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสม ปริมาณปลานิลที่ใช้การศึกษาคือ 1 - 5 กิโลกรัม สำหรับการหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมมีฟังชันก์วัตถุประสงค์คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุด และมีเงื่อนไขบังคับคือ อุณหภูมิอบแห้ง อัตราการไหลของอากาศ สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่และเวลาในการอบแห้ง โดยหาคำตอบด้วยวิธีค้นหาแบบกริด ผลจากการศึกษาพบว่า แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถทำนายผลได้ใกล้เคียงกับผลการทดลอง นอกจากนั้นยัง พบว่า เมื่อปริมาณปลานิลเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง

คำสำคัญ: แบบจำลองคณิตศาสตร์ ปลานิล เงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสม

คำนำ

การดำเนินการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุดนั้นเป็นการสิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้ใช้จ่ายมาก และวิธีการที่จะลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการศึกษาคือ การจำลองการอบแห้งโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีนักวิจัยหลายท่านพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ เช่น วราภรณ์ และคณะ (2542) พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งมะละกอแช่อิ่มโดยใช้ปั๊มความร้อน Teeboonma *et al*. (2002) ศึกษาเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ธณัฏฐ์ยศ และคณะ (2552) พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์การอบแห้งลำไยแบบคว้านเมล็ดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามด้วยลมร้อน เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณปลานิลที่มีต่อเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนอากาศแบบบังคับและมีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จ.สุรินทร์ 32000

[1] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture and Technology, Rajamagala University of Technology Isan, Surin Campus, Surin 32000

[2] ภาควิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี 34190

[2] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190

อุปกรณ์และวิธีการ

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบบังคับมีลักษณะการทำงานแสดงดัง Figure 1 ซึ่งมีหลักการทำงาน คือ อากาศจากแวดล้อมภายนอกจะผสมกับอากาศที่นำกลับมาใช้ใหม่ จากนั้นอากาศผสมจะไหลเข้าสู่แผงเก็บรังสีดวงอาทิตย์ หลังจากนั้นพัดลมจะดูดอากาศร้อนไหลผ่านผลิตภัณฑ์ในห้องอบแห้ง โดยภายในห้องอบแห้งจะเกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลพร้อมๆ กันระหว่างผลิตภัณฑ์กับอากาศ ซึ่งทำให้อากาศมีอุณหภูมิลดลงในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น หลังจากนั้นอากาศร้อนบางส่วนจะนำกลับมาใช้ใหม่และบางส่วนปล่อยสู่ภายนอก ลักษณะการทำงานจะหมุนเวียนเช่นนี้ไปเรื่อยๆ

แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนามีสมมุติฐานที่สำคัญ คือ สมดุลทางความร้อนระหว่างผลิตภัณฑ์กับอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งแบ่งปริมาตรควบคุมออกเป็น 4 ปริมาตรควบคุม ประกอบด้วย ปริมาตรควบคุมของสภาวะอากาศผสม (CV1) ปริมาตรควบคุมสภาวะอากาศไหลผ่านแผงเก็บรังสีดวงอาทิตย์ (CV2) ปริมาตรควบคุมของสภาวะอากาศไหลผ่านพัดลม (CV3) และปริมาตรควบคุมของสภาวะอากาศไหลผ่านห้องอบแห้ง (CV4) การคำนวณหาค่าความชื้นของปลานิลอบแห้งที่เวลาใดๆ ใช้สมการการแพร่ความชื้นในรูปทรงสี่เหลี่ยม (Crank, 1975) และสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น มีความสัมพันธ์ ดังสมการที่ (1) จากสมการดังกล่าวสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้นในช่วงเวลาต่างๆ โดยหาอนุพันธ์ เทียบกับเวลา และแก้สมการด้วยวิธี Runge-Kutta order 4 จะสามารถหาความชื้นสุดท้ายได้ (ธนกร และคณะ, 2554)

$$D = 7.1\times10^{-4}\exp\left(\frac{-26.68}{0.0083149\times(T+273.15)}\right) \quad (1)$$

เมื่อ D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ ,m^2/h T คือ อุณหภูมิอากาศอบแห้ง ,C^o

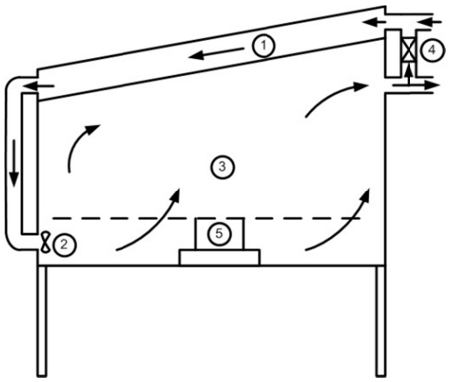
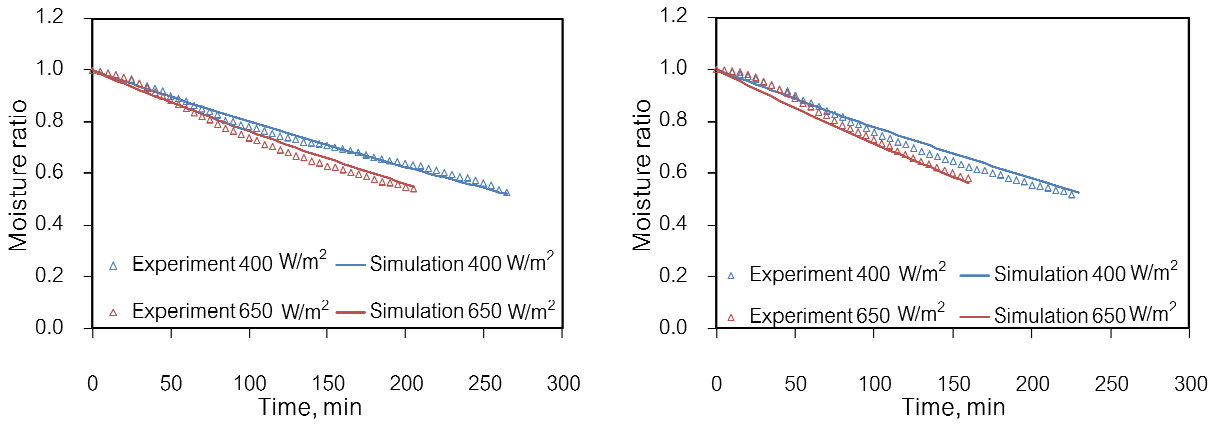


Figure1 Experimental set-up of the solar dryer, 1) Solar collector, 2) Fan, 3) Drying chamber, 4) Valve, 5) Load cell

ผลและวิจารณ์

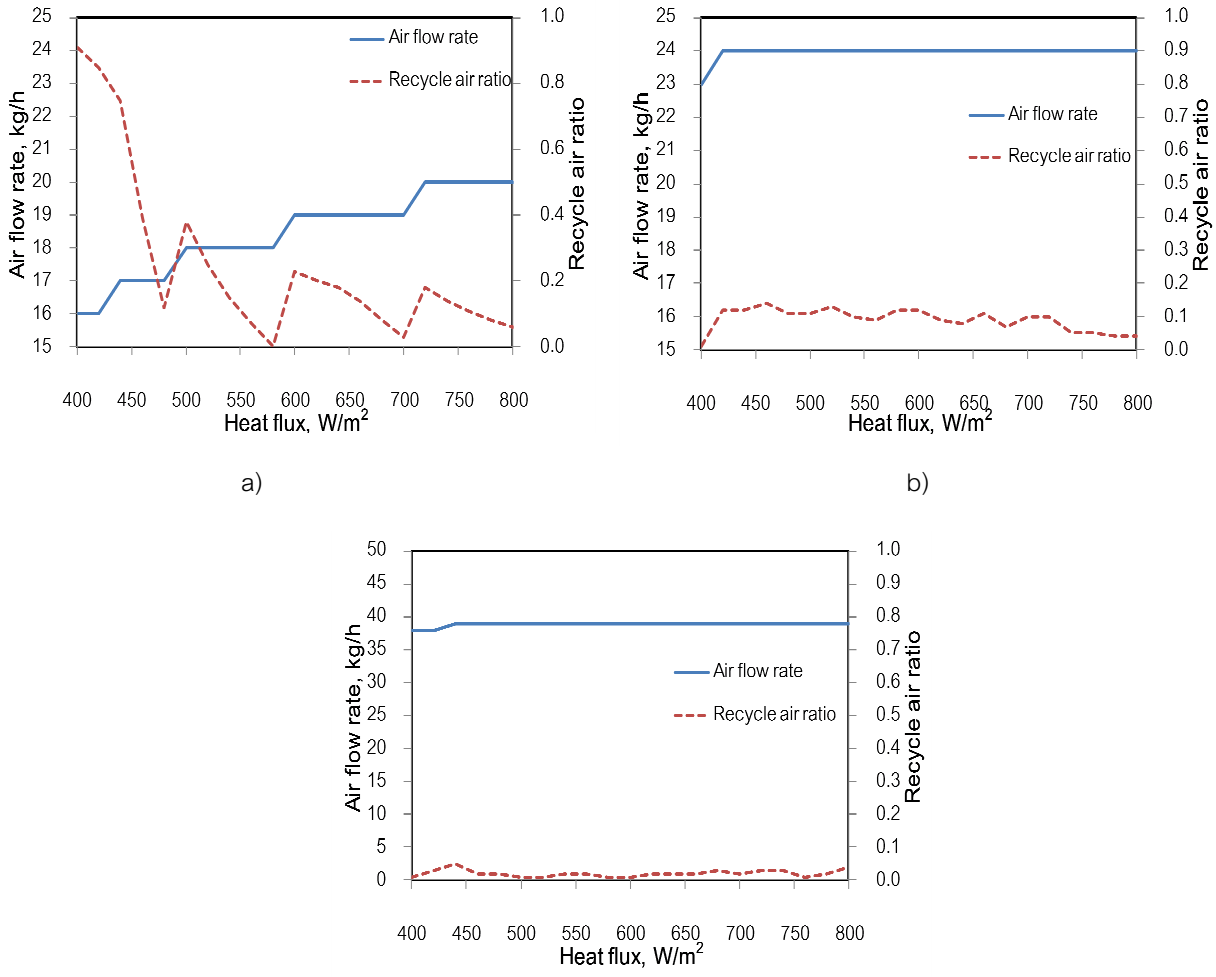
1. การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์กับผลการทดลอง

ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองภายใต้เงื่อนไขค่าพลังงานตกกระทบ 400 และ 650 W/m^2 ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 300 %d.b. อบให้เหลือความชื้นสุดท้าย 150 %d.b. โดยใช้อัตราการไหลของอากาศ 20 kg/h ที่สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 0 และ 0.6 สามารถนำเสนอผลการวิเคราะห์ได้ดัง Figure 2 จากการศึกษาพบว่า ค่าอัตราส่วนความชื้นของปลานิลเส้นที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีค่าลดลงค่อนข้างเร็วในช่วงแรกของการอบแห้ง หลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปค่าอัตราส่วนความชื้นของปลานิลเส้นจะเริ่มลดช้าลงเรื่อยๆ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง



a) Rc 0 b) Rc 0.6

Figure 2 Comparison of experimental with simulation results of *Tilapia nilotica* drying.



a) b)

c)

Figure 3 Effect of *Tilapia nilotica* quantity (a) 1 kg (b) 2 kg (c) 5 kg on appropriate drying conditions

2. ผลของปริมาณปลานิลที่มีต่อเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสม

ผลของปริมาณปลานิลที่มีต่อเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสม สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนอากาศแบบบังคับและมีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ โดยปริมาณปลานิลเส้นสดที่ใช้ในการศึกษาหนัก 1 – 5 kg การหาเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมพิจารณาจากค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุด มีเงื่อนไขในการพิจารณาเริ่มต้นคือ

ความชื้นเริ่มต้นของปลานิลเส้นประมาณ 300 %d.b. อบแห้งจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายเหลือ 150 %d.b. ซึ่งเป็นค่าความชื้นของปลานิลเส้นแดดเดียวที่มีขายตามท้องตลาด อากาศแวดล้อม 27°C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 70% โดยมีเงื่อนไขบังคับในการพิจารณาที่สำคัญคือ อุณหภูมิอบแห้งไม่เกิน 70°C เนื่องจากจะมีผลต่อคุณภาพ ผลจากการวิเคราะห์หาเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมภายใต้ปริมาณปลานิลที่ต่างกันสามารถนำเสนอได้ดังข้อมูลใน Figure 3 จากข้อมูล พบว่า ค่าอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณปลานิลที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น และค่าสัดส่วนการการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่มีค่าลดลงเมื่อปริมาณปลานิลที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณปลานิลที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ภาระในการพาความชื้นออกจากห้องอบแห้งมากขึ้นตามด้วย จึงส่งผลให้ต้องเพิ่มอัตราการไหลของอากาศและลดค่าสัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่เพื่อที่จะพาความชื้นออกจากห้องอบแห้งได้ดีขึ้น และที่ปริมาณปลานิลที่ใช้ในการอบแห้งหนัก 1 kg ค่าอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะมีค่าอยู่ระหว่าง 16 - 20 kg/h ที่ปริมาณปลานิลที่ใช้ในการอบแห้งหนัก 3 kg ค่าอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะมีค่าอยู่ระหว่าง 23 - 24 kg/h และที่ปริมาณปลานิลที่ใช้ในการอบแห้งหนัก 5 kg ค่าอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะมีค่าอยู่ระหว่าง 38 - 39 kg/h สำหรับค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะแสดงข้อมูลดัง Figure 4 จากข้อมูลพบว่า เมื่อปริมาณปลานิลที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้นค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะมีค่าลดลง โดยค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้มีค่าอยู่ในช่วง 3.2 – 13.6 MJ/kg water evap.

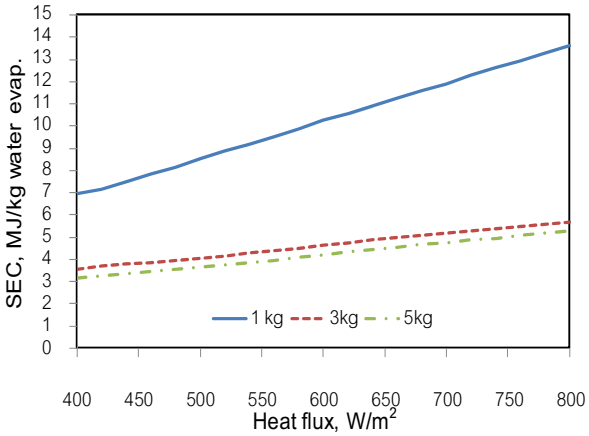


Figure 4 Specific energy consumptions of *Tilapia nilotica* drying.

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยจนทำให้งานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

ธณัฏฐ์ยศ สมใจ, ศิวะ อัจฉวิริยะ, อารีย์ อัจฉริยะวิริยะ และกอดขวัญ นามสงวน. 2552. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งลำไยแบบคว้านเมล็ดออกแบบสองขั้นตอนด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและลมร้อน. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23. ระหว่างวันที่ 4-7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2542. จังหวัดเชียงใหม่.

ธนกร หอมจำปา, ทรงสุภา พุ่มชุมพล และอำไพศักดิ์ ทีบุญมา. 2554. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับอบแห้งปลานิลโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบบังคับ. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.ปีที่ 4 ฉบับที่ 2.

วราภรณ์ รัตตนงพิสัตย์, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และธนิต สวัสดิ์เสวี. 2542. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งผลไม้โดยใช้ปั๊มความร้อน. วารสารเกษตรศาสตร์ 33: 146-158.

Crank, J. 1975. The mathematics of diffusion, Oxford University Press, U.K. 424 p.

Teeboonma, U., S. Soponronnarit and J. Tiansuwan. 2002. Optimization of heat pump fruit dryer. Proceeding of the 13th International drying symposium. Beijing China. 1332-1341 pp.