

**แบบจำลองคณิตศาสตร์เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์  
ที่มีการไหลเวียนอากาศแบบบังคับ : กรณีศึกษาการอบแห้งปลาหิล**

**A mathematical model of solar dryer by forced convection**

**: A case study of *tilapia nilotica* drying**

ธนกร หอมจำปา\* และ อำไพศักดิ์ ทีบุญมา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190 โทร 0-4535-3309 โทรสาร 0-4535-3308  
E-mail: [tanagorn\\_hom@hotmail.com](mailto:tanagorn_hom@hotmail.com)

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์การอบแห้งปลาหิลด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนอากาศแบบบังคับและตรวจสอบความถูกต้องโดยเปรียบเทียบกับผลการทดลอง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของสัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ต่อระยะเวลาการอบแห้ง อัตราการอบแห้ง และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ผลจากการศึกษาพบว่า แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถทำนายค่าต่างๆ ได้ใกล้เคียงกับผลการทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ จะทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง

**คำสำคัญ:** การอบแห้ง, เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, แบบจำลองคณิตศาสตร์

**Abstract**

A mathematical model of tilapia nilotica drying using solar dryer by force convection was developed and validated experimentally in this work. Consequently, the effect of recycle air ratio on drying time, drying rate and specific energy consumption was investigated. The study results showed that the simulation results are in reasonable agreement with the experimental results. Additionally, it was found that increment of recycle air ratio causes decrement of drying time, increment of drying rate and increment of specific energy consumption.

**Keywords:** Drying, Solar dryer, Mathematical model

## 1. บทนำ

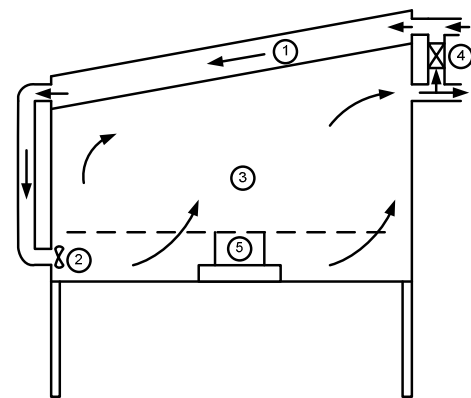
ตั้งแต่อดีตการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยการตากแดดยังเป็นที่นิยม เนื่องจากการตากแดดเป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และอาจทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค อย่างไรก็ตามวิธีตากตามธรรมชาติของเกษตรกรประสบปัญหาในเรื่องของแสงแดดไม่สม่ำเสมอ ทำให้ต้องใช้เวลาตากนาน ส่งผลให้การผลิตช้าและมีคุณภาพต่ำ ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นมาหลายรูปแบบที่อาศัยแหล่งพลังงานความร้อนจากแหล่งอื่นเพิ่มเติม โดยนักวิจัยหลายท่าน เช่น ณัฐวุฒิ และคณะ[1] ได้พัฒนาระบบอบแห้งผลไม้โดยใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดและใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม จากการศึกษา พบว่าควรอบกล้วยที่ 60°C อัตราการไหลอากาศจำเพาะของอากาศประมาณ 10.5kg<sub>dry air</sub>/h·kg<sub>dry solid</sub> และสัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 90-95% Sarsavadia [2] พัฒนาเครื่องอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดและใช้พลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับอบหอมแดงแผ่น ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานสำหรับการอบแห้งหอมแดงเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศและลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศ ในงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นช่วยให้เกษตรกรได้ผลิตภัณฑ์ที่ดี ลดเวลาในการอบแห้ง แต่ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงเนื่องจากราคาพลังงานจากแหล่งอื่นมีราคาต้นทุนสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องอบแห้งให้มีเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสม โดยพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์การอบแห้งปลานิลด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนอากาศบังคับและมีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานแสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพ

## 2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 2.1 ชุดทดลอง

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบบังคับมีลักษณะการทำงานแสดงดังรูปที่ 1

ซึ่งมีส่วนประกอบ คือ แผงเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบขนาดพื้นที่ 0.61 ตารางเมตร ปิดทับด้วยกระจกใสหนึ่งชั้นหนา 3 มิลลิเมตร แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ใช้แผ่นไม้อัดทาสีดำด้านติดตั้งทำมุมเอียง 14 องศา กับแนวระดับ ตู้อบแห้งลักษณะทรงสี่เหลี่ยมคางหมู ด้านหลังมีประตูเปิด-ปิด สำหรับนำผลิตภัณฑ์อบแห้งเข้า-ออก ใช้พัดลมแบบแนวแกนเพื่อใช้ขับอากาศให้เกิดการหมุนเวียน โดยมีวาล์วผีเสื้อที่สามารถปรับสัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่



รูปที่ 1 ชุดทดลองประกอบด้วย 1) แผงเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ 2) พัดลม 3) ห้องอบแห้ง 4) แดมเปอร์ 5) โหลดเซลล์

หลักการการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ คือ อากาศจากแวดล้อมภายนอกจะผสมกับอากาศที่นำกลับมาใช้ใหม่ จากนั้นอากาศผสมจะไหลเข้าสู่แผงเก็บรังสี หลังจากนั้นพัดลมจะดูดอากาศร้อนไหลผ่านผลิตภัณฑ์ในห้องอบแห้ง โดยภายในห้องอบแห้งจะเกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลพร้อมๆกัน ระหว่างผลิตภัณฑ์กับอากาศ ซึ่งทำให้อากาศมีอุณหภูมิลดลงในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น หลังจากนั้นอากาศร้อนบางส่วนจะนำกลับมาใช้ใหม่ และบางส่วนปล่อยสู่ภายนอก

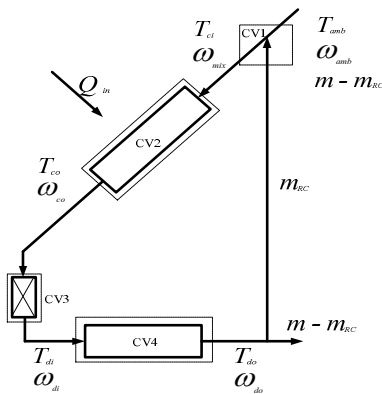
### 2.2 วิธีการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้อบแห้งในงานวิจัยนี้คือ ปลานิล โดยชำแหละเอาส่วนที่เป็นหัวและก้างออกแล้วเอาส่วนที่เป็นเนื้อมาหั่นด้วยเครื่องหั่นตามความยาวของตัวปลา ให้ได้ขนาด 1.0x1.5x1.0 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ประมาณ 1 กิโลกรัม นำมาวางเรียงบนถาด

อบแห้งโดยไม่ให้ซ้อนทับกัน และทำการอบภายใต้เงื่อนไขความเร็วทางเข้าแผงเก็บรังสีอาทิตย์ 3 เมตรต่อวินาที พลังงานตกกระทบ 400 และ 650 วัตต์ต่อตารางเมตร และส่วนสัตการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ (RC) เท่ากับ 0.4 และ 0.6 ตามลำดับ ในช่วงทำการทดลองจะบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ พร้อมทั้งอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ในระบบทุกๆ 5 นาที โดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูล

### 2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองที่พัฒนามีสมมุติฐานที่สำคัญ คือ สมดุลทางความร้อนระหว่างผลิตภัณฑ์กับอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งแบ่งจำนวนปริมาตรควบคุมออกเป็น 4 ปริมาตรควบคุมดังแสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วย ปริมาตรควบคุมของสภาวะอากาศผสม (CV1) ปริมาตรควบคุมของสภาวะอากาศไหลผ่านแผงเก็บรังสีอาทิตย์ (CV2) ปริมาตรควบคุมของสภาวะอากาศไหลผ่านพัดลม (CV3) และปริมาตรควบคุมของสภาวะอากาศไหลผ่านห้องอบแห้ง (CV4)



รูปที่ 2 แสดงปริมาตรควบคุมของเครื่องอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์ไหลเวียนอากาศแบบบังคับ

#### 2.3.1 การวิเคราะห์หาความชื้นของปลานิล

การคำนวณค่าความชื้นของปลานิลอบแห้งที่เวลาใดๆ ใช้สมการการแพร่ความชื้นในรูปทรงสี่เหลี่ยม[3] โดยมีรูปแบบดังนี้

$$MR(t) = \left(\frac{8}{\pi^2}\right)^3 \frac{d}{dt} \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \left[ \frac{1}{(2i+1)^2 + (2j+1)^2 + (2k+1)^2} \right] \exp \left[ - \left( \frac{(2i+1)^2}{l_x^2} + \frac{(2j+1)^2}{l_y^2} + \frac{(2k+1)^2}{l_z^2} \right) \pi^2 D t \right] \quad (1)$$

โดย  $MR(t) = \left( \frac{M_i - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \right) \quad (2)$

และสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น [4] มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$D = 7.1 \times 10^{-4} \exp \left( \frac{-26.68}{RT} \right) \quad (3)$$

เมื่อ

$MR(t)$  คือ อัตราส่วนความชื้น (decimal)

$M_{in}$  คือ ความชื้นเริ่มต้น (%d.b.)

$M_{eq}$  คือ ความชื้นสมดุล (%d.b.)

$D$  คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ ( $m^2/h$ )

$RH$  คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้ง (%)

$t$  คือ เวลาในการอบแห้ง (h)

$l_x, l_y, l_z$  คือ ความยาวของวัสดุแต่ละด้าน (m)

$R$  คือ ค่าคงที่ของแก๊ส ( $8.3149 \times 10^{-3} \text{ kJ/mol-K}$ )

$T$  คือ อุณหภูมิสมบูรณ์ของอากาศ (K)

จากสมการที่ (1) สามารถหาการเปลี่ยนแปลงความชื้นในช่วงเวลาต่างๆ โดยการหาอนุพันธ์ของสมการที่ (1) เทียบกับเวลา และแก้สมการโดยใช้วิธี Runge-Kutta order 4 จะสามารถหาความชื้นสุดท้ายได้ดังสมการที่(4)

$$M_{f,n} = M_{i,n} + \frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (4)$$

โดย  $K_1 = \Delta t \cdot f(t)$

$K_2 = \Delta t \cdot f(t + 0.5\Delta t)$

$K_3 = \Delta t \cdot f(t + 0.5\Delta t)$

$K_4 = \Delta t \cdot f(t + \Delta t)$

เมื่อ

$M_f$  คือ ความชื้นสุดท้าย (%d.b.)  
 $M_i$  คือ ความชื้นเริ่มต้น (%d.b.)  
 $\Delta t$  คือ ช่วงเวลา (h)

ของอากาศ (kJ/kg-°C)

$C_v$  คือ ค่าความร้อนจำเพาะ  
ของไอน้ำ (kJ/kg-°C)  
 $T_{mix}$  คือ อุณหภูมิอากาศผสม (°C)  
 $T_{amb}$  คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (°C)  
 $T_{do}$  คือ อุณหภูมิอากาศหลัง  
การอบแห้ง (°C)  
 $h_{fg}$  คือ ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ  
(kJ/kg-H<sub>2</sub>O)

### 2.3.2 การคำนวณสภาวะอากาศผสม(CV1)

พิจารณาปริมาตรควบคุมCV1 จากหลักการสมดุลมวลจะได้ว่า มวลของน้ำในอากาศร้อนก่อนเข้าตัวเก็บรังสีเท่ากับผลรวมของมวลของน้ำในอากาศขาเข้ากับมวลของน้ำในอากาศร้อนที่นำกลับมาใช้ ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\omega_{mix} = RC\omega_{do} + (1 - RC)\omega_{amb} \quad (5)$$

โดย  $RC = \frac{m_{RC}}{m_a} \quad (6)$

เมื่อ

$\omega_{mix}$  คือ อัตราส่วนความชื้นจำเพาะ  
ของอากาศผสม (decimal)  
 $\omega_{do}$  คือ อัตราส่วนความชื้นจำเพาะของ  
อากาศหลังการอบแห้ง (decimal)  
 $\omega_{amb}$  คือ อัตราส่วนความชื้นจำเพาะของ  
อากาศแวดล้อม (decimal)

จากหลักการสมดุลพลังงานจะได้ว่า เอนทาลปีของกระแสอากาศขาเข้าเท่ากับเอนทาลปีของกระแสอากาศขาออกจากปริมาตรควบคุม เมื่อไม่คิดการสูญเสียความร้อนระหว่างระบบและสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$T_{mix} = \frac{\{(1 - RC)[C_a T_{amb} + \omega_{amb}(h_{fg} + C_v T_{amb})] + RC[C_a T_{do} + \omega_{do}(h_{fg} + C_v T_{do})] - \omega_{mix} h_{fg}\}}{(C_a + \omega_{mix} C_v)} \quad (7)$$

เมื่อ

$RC$  คือ สัดส่วนการนำอากาศ  
กลับมาใช้ใหม่ (decimal)  
 $C_a$  คือ ค่าความร้อนจำเพาะ

### 2.3.3 การคำนวณที่สภาวะอากาศไหลผ่านตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ (CV2)

พิจารณาปริมาตรควบคุมCV2 จากหลักการสมดุลมวลจะได้ว่าความชื้นของอากาศก่อนเข้าเท่ากับความชื้นอากาศหลังผ่านตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์

อัตราการไหลเชิงมวลคงที่ :  $m_{ci} = m_{co}$

ความชื้นในอากาศคงที่ :  $\omega_{ci} = \omega_{co} = \omega_{mix}$

จากหลักการสมดุลพลังงานจะได้ว่าพลังงานบนตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ พลังงานความร้อนที่นำมาใช้ประโยชน์ เท่ากับพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอุ่นอากาศ ดังนั้นสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$T_{co} = [C_a T_{mix} + \omega_{mix}(h_{fg} + C_v T_{mix}) + (Q/m_a) - \omega_{mix} h_{fg}] / (C_a + \omega_{mix} C_v) \quad (8)$$

เมื่อ

$Q$  คือ พลังงานความร้อน (kJ/s)  
 $T_{co}$  คือ อุณหภูมิอากาศผ่านหลังตัวเก็บ  
รังสีดวงอาทิตย์ (°C)  
 $m_a$  คือ อัตราการไหลของอากาศ (kg/s)

### 2.3.4 การคำนวณที่สภาวะอากาศไหลผ่านพัดลม (CV3)

พิจารณาปริมาตรควบคุมCV3จากหลักการอนุรักษ์มวลจะได้ว่า ความชื้นของอากาศก่อนเข้าเท่ากับความชื้นอากาศหลังผ่านพัดลม

อัตราการไหลเชิงมวลคงที่ :  $m_{co} = m_{di}$

ความชื้นในอากาศคงที่ :  $\omega_{co} = \omega_{di}$

เนื่องจากมีงานที่เข้า คืองานเพลลาที่พัดลม  $W_{fan}$  และจากหลักสมดุลพลังงานจะได้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของกระแสอากาศเท่ากับกำลังงานเพลลาที่ขับเคลื่อนพัดลม เมื่อไม่คิดการสูญเสียความร้อนระหว่างระบบและสิ่งแวดล้อม สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$T_{di} = [C_a T_{co} + \omega_{mix}(h_{fg} + C_v T_{co}) + (W_{fan}/m_a) - \omega_{mix} h_{fg}] / (C_a + \omega_{mix} C_v) \quad (9)$$

โดย  $W_{fan} = \frac{m_a \Delta P}{\rho \eta_{fan}} \quad (10)$

เมื่อ

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ ( $\text{kg/m}^3$ )

$\Delta P$  คือ ความดันที่ตกลงระหว่างพัดลม (kPa)

$\eta_{fan}$  คือ ประสิทธิภาพของพัดลม (decimal)

$T_{di}$  คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง ( $^{\circ}\text{C}$ )

$W_{fan}$  คือ กำลังงานเพลลาที่ขับเคลื่อนพัดลม (kW)

### 2.3.5 การคำนวณที่สภาวะอากาศไหลผ่านห้องอบแห้ง (CV4)

พิจารณาปริมาตรควบคุม CV4 จากหลักการสมดุลมวลจะได้ว่า ความชื้นของอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุที่อบแห้ง ซึ่งสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\omega_{do} = \omega_{mix} + R(M_i - M_f) \quad (11)$$

โดยที่  $R = \frac{m_p}{m_a \times \Delta t} \quad (12)$

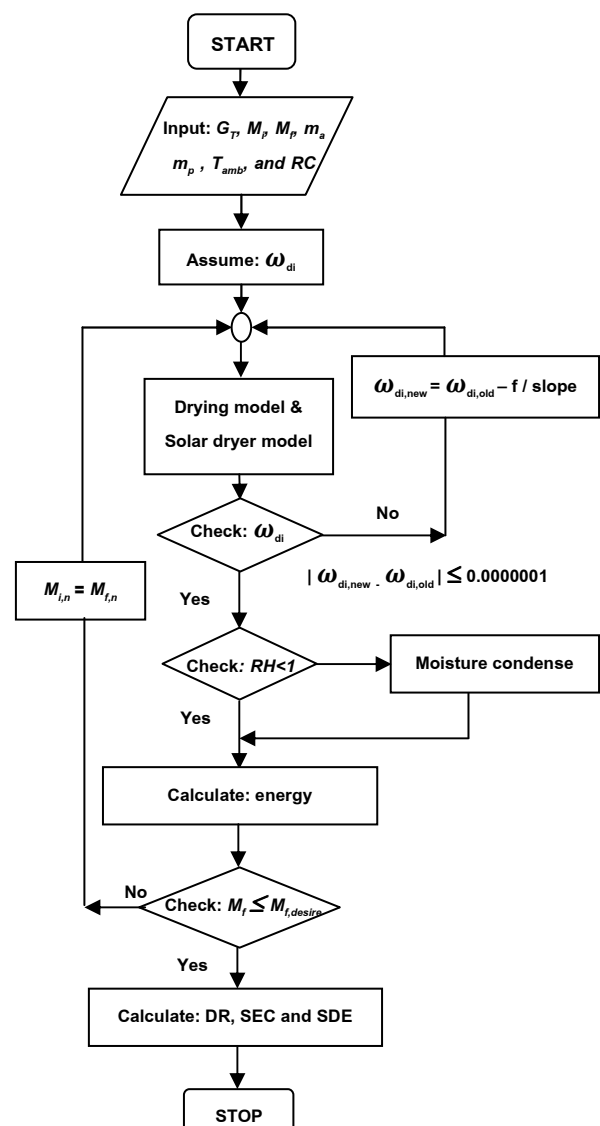
เมื่อ

$m_p$  คือ น้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์ (kg)

จากหลักการสมดุลพลังงาน เนื่องจากไม่มีงานที่เข้าและออกจากระบบและจากหลักการอนุรักษ์

พลังงานจะได้ว่า การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของกระแสอากาศที่เข้าและออกจากห้องอบแห้งเท่ากับการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในวัสดุอบแห้ง เมื่อไม่คิดการสูญเสียความร้อนระหว่างระบบและสิ่งแวดล้อมสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$T_{do} = (C_a T_{di} + \omega_{mix}(h_{fg} + C_v T_{di}) - \omega_{do} h_{fg} + R C_p T_{di}) / (C_a + \omega_{do} C_v + R C_p) \quad (13)$$



รูปที่ 3 ขั้นตอนการจำลองระบบ

### 2.3.6 ขั้นตอนการคำนวณแบบจำลองทาง

#### คณิตศาสตร์

แบบจำลองระบบเริ่มจากการป้อนค่าของตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งเป็นตัวที่ทราบค่าและค่าคงที่ที่ใช้ในแบบจำลอง การคำนวณเริ่มต้นโดยสมมุติ  $\omega_{di}$  จากนั้นคำนวณหา  $RH$  จากนั้นคำนวณค่า  $M_f, \omega_{do}, T_{do}$  และคำนวณค่า  $\omega_{di,n}(\omega_{mix})$  ใหม่ เมื่อได้  $\omega_{di,n}$  ใหม่แล้วเปรียบเทียบกับค่า  $\omega_{di}$  ที่สมมุติ ถ้าผลแตกต่างระหว่าง  $\omega_{di,n}$  ใหม่กับ  $\omega_{di}$  ที่สมมุติมากกว่าค่าที่ยอมรับได้ ( $0.0000001$ ) ก็กลับไปคำนวณใหม่โดยสมมุติ  $\omega_{di,new} = \omega_{di,old} - f/slop$  ถ้าผลต่างระหว่าง  $\omega_{di,n}$  กับ  $\omega_{di}$  ที่สมมุติน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ก็ตรวจสอบค่า  $RH < 1$  ขั้นตอนต่อไปคือคำนวณความสิ้นเปลืองพลังงาน โปรแกรมจะทำการคำนวณไปเรื่อยๆจนกว่าค่าความชื้นของปลานิลเส้นจะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความชื้นของปลานิลเส้นที่ต้องการ และบันทึกค่าพลังงานที่ใช้ หลังจากนั้นเริ่มคำนวณในเงื่อนไขต่อไป และบันทึกค่าพลังงานเพื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขอื่นๆ การคำนวณจะกระทำต่อไปเรื่อยๆจนครบทุกเงื่อนไข ดังแสดงในรูปที่ 3

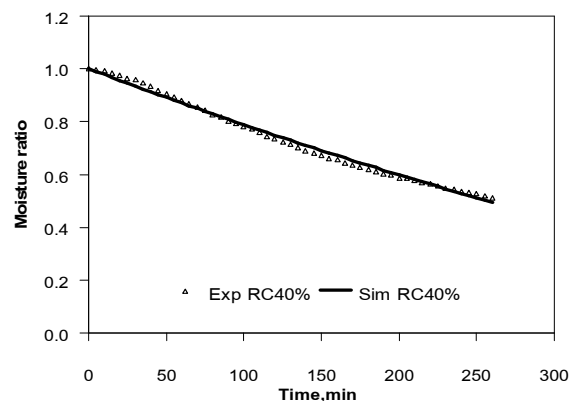
### 3. ผลและวิจารณ์

#### 3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

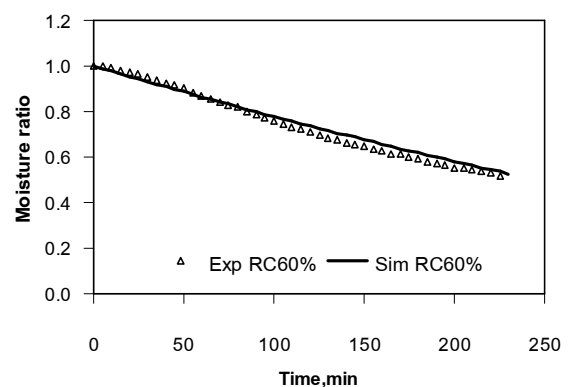
##### คณิตศาสตร์

ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลจากทดลองภายใต้เงื่อนไขค่าพลังงานตกกระทบ  $400$  และ  $650 \text{ W/m}^2$  ความชื้นเริ่มต้น  $300\% \text{ d.b.}$  ให้มีความชื้นสุดท้าย  $150\% \text{ d.b.}$  อัตราการไหลของอากาศ  $23 \text{ kg/h}$  สามารถนำไปเขียนกราฟแสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งพบว่า ค่าอัตราส่วนความชื้นของปลานิลเส้นที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีค่าลดลงค่อนข้างเร็วในช่วงแรกของการอบแห้ง หลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปค่าอัตราส่วนความชื้นของปลานิลเส้นจะเริ่มลดช้าลงเรื่อยๆ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการลดลงของอัตราส่วนความชื้นของปลานิลเส้นที่ได้จากการ

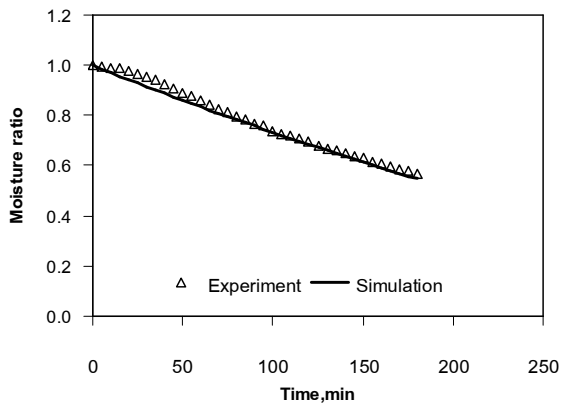
ทดลอง อย่างไรก็ตามมีส่วนที่แตกต่างกันคือ ในช่วงแรกของการอบแห้ง ค่าอัตราส่วนความชื้นของปลานิลเส้นที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีค่าต่ำกว่าอัตราส่วนความชื้นของปลานิลเส้นที่ได้จากข้อมูลการทดลอง เนื่องจากอุณหภูมิของปลานิลเส้นของการทดลองในช่วงแรกยังไม่สูงมากทำให้อัตราการลดลงของความชื้นปลานิลเส้นช้า ส่วนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นได้สมมุติให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศอบแห้ง ซึ่งเมื่อเริ่มต้นการอบแห้งค่าอุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงขึ้นทันที ดังนั้นในช่วงแรกของการอบแห้งค่าอัตราส่วนความชื้นของปลานิลเส้นที่ได้จากการทดลองจึงมีค่าสูงกว่า และส่วนในช่วงท้ายของการอบแห้งอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลการทดลอง



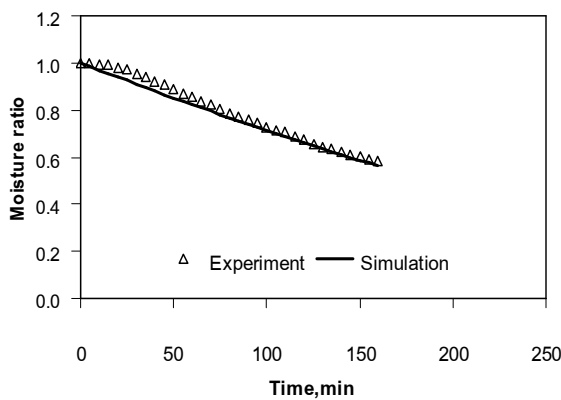
a) RC 40%,  $G_T$   $400 \text{ W/m}^2$



b) RC 60%,  $G_T$   $400 \text{ W/m}^2$



c) RC 40%,  $G_T$  650 W/m<sup>2</sup>



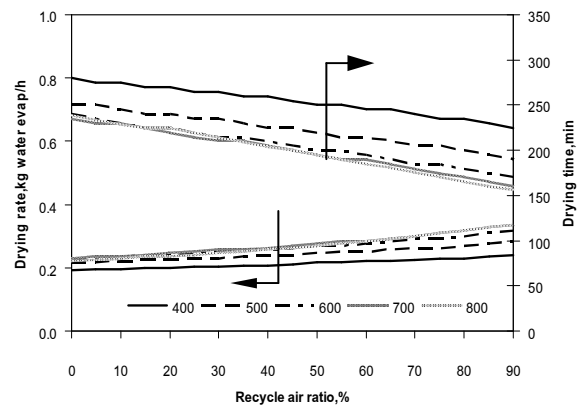
d) RC 60%,  $G_T$  650 W/m<sup>2</sup>

รูปที่ 4 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์  
ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และผลการ  
ทดลองที่ค่าพลังงานตกกระทบต่างๆ

#### 4.2 ผลของสัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ที่มีต่ออัตราการอบแห้งและเวลาในการอบแห้ง

ผลของสัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ที่มีต่ออัตราการอบแห้งภายใต้เงื่อนไขที่ใช้ในการจำลองสถานะ คือ ปลานิลเส้นหนัก 1kg ความชื้นเริ่มต้นของปลานิลเส้น 300% d.b. ความชื้นสุดท้าย 150% d.b. อัตราการไหลของอากาศ 23kg/h อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 27°C ความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม 75% ซึ่งผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งปลานิลเส้นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนอากาศแบบบังคับ แสดงดังรูปที่ 5 พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ เวลาในการอบแห้งลดลง ส่งผลให้อัตราการอบแห้งมีค่า

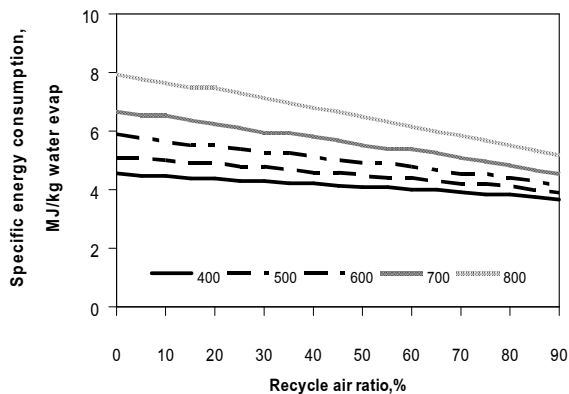
เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่เป็นการนำอากาศที่มีอุณหภูมิสูง (อากาศหลังการอบแห้ง) มาผสมกับอากาศแวดล้อม ทำให้อุณหภูมิอากาศก่อนไหลเข้าแผงเก็บรังสีมีอุณหภูมิสูงขึ้น หลังจากนั้น อากาศส่วนนี้ก็จะรับพลังงานความร้อนจากแผงเก็บรังสีอีกครั้งทำให้อุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงขึ้นกว่ากรณีไม่มีการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ ในหลักการเดียวกัน เมื่อเพิ่มสัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ก็จะทำให้สามารถเพิ่มอุณหภูมิก่อนเข้าห้องอบแห้งได้สูงขึ้นเรื่อยๆ และภายใต้เงื่อนไขสัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ 90% สามารถลดเวลาในการอบแห้งได้ประมาณ 27%



รูปที่ 5 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งเฉลี่ยและเวลาการอบแห้งกับสัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ที่สภาวะพลังงานตกกระทบต่างๆ (W/m<sup>2</sup>)

#### 4.3 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งปลานิลเส้นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการไหลเวียนอากาศแบบบังคับ แสดงดังรูปที่ 6 พบว่าค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าความสิ้นเปลืองพลังงานกับ  
สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่  
ที่สภาวะพลังงานตกกระทบบต่างๆ ( $W/m^2$ )

### 5. สรุปผลการทดลอง

ผลจากการศึกษา พบว่า แบบจำลองคณิตศาสตร์  
ที่พัฒนาขึ้นให้ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับผลการ  
ทดลองเป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังพบว่า การนำ  
อากาศกลับมาใช้ใหม่สามารถลดระยะเวลาการอบแห้ง  
เพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้ง และลดค่าความสิ้นเปลือง  
พลังงานจำเพาะ

### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิศวกรรมเครื่องกล คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ทุน  
สนับสนุนงานวิจัยนี้

### 7. เอกสารอ้างอิง

[1] ณัฐวุฒิ ดุษฎี (2534). การพัฒนาระบบอบแห้ง  
ผลไม้โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม,  
วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีการศึกษา  
2534.

[2] Sarsavadia, PN. (2007). Development of a  
solar-assisted dryer and evaluation of energy  
requirement for the drying of onion, Renewable  
Energy 32, 2529–2547.

[3] Crank, J. (1975). The Mathematics of  
Diffusion, Oxford University Press, U.K

[4] ประทีป ตุ่มทอง และ อำไพศักดิ์ ทีบุญญา (2553).  
จลนพลศาสตร์การอบแห้งและสัมประสิทธิ์การแพร่  
ของปลานิล, วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.  
ปีที่ 3, ฉบับที่ 2, กรกฎาคม-ธันวาคม 2553, หน้า9-16