

## การใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งลำลีพังก้าน

### Energy Consumption in the Drying Process of Cotton buds.

ณัฐชนน ตาเสาร์ (Natchanon Tasao)\* ชาญณรงค์ สายแก้ว (Charnnarong Saikaew)\*\*

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการใช้พลังงาน แนวทางมาตรการในการประหยัดพลังงานในกระบวนการอบแห้งลำลีพังก้านและ ศึกษาการกระจายอุณหภูมิในห้องอบแห้งลำลีพังก้าน โดยทำการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นชื้นงาน พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ แล้วนำมาคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ ประสิทธิภาพ ผลการประหยัดพลังงานจากการเสนอแนะ มาตรการโดยการจำลองในสมการ และ การวิเคราะห์ความแปรปรวน, การเปรียบเทียบพหุคูณเพื่อหาความแตกต่างของ อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งลำลีพังก้าน จากการศึกษาพบว่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด 1,696.05 MJ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวมทั้งหมด เท่ากับ 438.48 MJ การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในกระบวนการอบแห้งเท่ากับ 5.56 MJ/kg ประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้ง เท่ากับ 51.12 % ประสิทธิภาพการอบแห้งโดยรวมเท่ากับ 40.62 % และ พบว่าอุณหภูมิในห้องอบแห้งไม่สม่ำเสมอหรือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นได้นำเสนอมาตรการในการประหยัด พลังงานคือ ลดเวลาในการอบแห้ง และลดพื้นที่หน้าตัดท่อไหลเวียนอากาศในห้องอบ ภายหลังการดำเนินการมาตรการ ดังกล่าว ทำให้พลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งลดลงเท่ากับ 521.86 MJ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวมทั้งหมดลดลง เท่ากับ 134.93 MJ การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งลดลงเท่ากับ 1.71 MJ/kg ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของการอบแห้งเพิ่มขึ้นเท่ากับ 22.72% และประสิทธิภาพการอบแห้งโดยรวมเพิ่มขึ้น 18.05 %

#### ABSTRACT

This paper presents energy consumption measures to energy saving in the drying process of cotton buds and study temperature uniformity in drying chamber cotton buds. The temperature measurements, moisture measurements and electrical energy. Then the calculate energy consumption, efficiency, energy saving result of the measures proposed by simulating the equation and analysis of variance (ANOVA), multiple comparisonsto find the difference of temperature inside the drying chamber cotton buds. From the study, the total thermal energy used for drying 1,696.05 MJ, total electrical energy consumption 438.48 MJ, specific energy consumption in drying process 5.56 MJ/kg, thermal efficiency for drying 51.12 %, total efficiency for drying 40.62 % and the temperature is not uniformity in the drying chambersignificantly. Then, the measures proposed of energy saving that is drying time reduce and sectional area reduce pipe air circulation inside the drying chamber. After the implementation of such measures total thermal energy used for drying lower 521.86 MJ, total electrical energy consumption 134.93 MJ, specific energy consumption in drying process lower 1.71 MJ/kg, thermal efficiency for drying increase 22.72 % and total efficiency for drying increase 18.05 %

**คำสำคัญ:** ลำลีพังก้าน การใช้พลังงาน การอบแห้ง

**Key Words:** Cotton buds, Energy consumption, Drying

\* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*\* รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

## บทนำ

ลำลีพันก้าน (Cotton Buds) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากลำลีตาม มอก.182 พันด้านปลายด้านเดียวหรือสองด้านของก้านพลาสติก ก้านกระดาษ หรือก้านไม้ มีแบบคือ แบบหัวเดียวและสองหัว(ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 3828, 2551) ใช้สำหรับทำความสะอาดหู และทำความสะอาดผลิตภัณฑ์หรือใช้สำหรับทางการแพทย์ โดยกระบวนการผลิตลำลีพันก้านแยกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆได้แก่ การผลิตก้านและการผลิตลำลี จากนั้นจึงนำมาประกอบกันเป็น ลำลีพันก้าน ด้วยการใช้วัตถุดิบ คือ นำฝ้ายมาฟอกขาวจากนั้นจึงสาวเป็นเส้นนำมาพันเป็นหัวลำลีนำไปอบแห้งและบรรจุสินค้าให้กับแบรนด์ต่างๆ ตามแบบที่ลูกค้ากำหนด (วุฒิ มณีโชติ, 2552) การอบแห้งเป็นการกำจัดความชื้นหรือน้ำในผลิตภัณฑ์ (Jaya & Das, 2003) การอบแห้งมีด้วยกันหลายวิธี โดยทั่วไปทำได้โดยการตากแดด หรือใช้เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อน การใช้การอบแห้งแบบต่างๆนี้ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก (Chaleeda, 2555) พลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งและให้ความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิตภาคอุตสาหกรรม นับวันพลังงานมีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการนำพลังงานมาใช้จึงมีการคิดค้นกระบวนการต่างๆ ที่จะทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงสุดและสูญเสียน้อยที่สุด (วิโรจน์ จินดารัตน์และคณะ, 2551) งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งลำลีพันก้าน ปัจจุบันยังไม่พบผู้ทำการการศึกษาการใช้พลังงานและประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งลำลีพันก้านทำให้ไม่ทราบถึงต้นทุนการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งลำลีพันก้าน ดังนั้นการทราบถึงประสิทธิภาพและต้นทุน การใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งลำลีพันก้านที่แท้จริงจะเป็นส่วนหนึ่งที่จะสามารถหาแนวทางการประหยัดพลังงานให้แก่ผู้ประกอบการ และผู้ประกอบการสามารถปรับปรุงกระบวนการอบแห้งลำลีพันก้านให้มีต้นทุนที่ต่ำลงได้

## วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งลำลีพันก้าน
2. เพื่อหาแนวทางการประหยัดพลังงานในกระบวนการอบแห้งลำลีพันก้าน
3. เพื่อศึกษาความแตกต่างของการกระจายอุณหภูมิในห้องอบแห้งลำลีพันก้าน

## วิธีการวิจัย

1. เตรียมลำลีพันก้านจากกระบวนการผลิตเพื่อที่จะทำการอบแห้งพร้อมนับจำนวนทั้งหมด (แยกตามประเภทงาน)
2. ทำการสูบลมซึ่งน้ำหนักลำลีพันก้านต่อชิ้นด้วยเครื่องสูบลม JADEVER รุ่น JKH-500 ความละเอียด 0.1 กรัม
3. ทำการสูบลมตรวจวัดความชื้นขึ้นงานก่อนอบแห้งด้วยเครื่องวัดความชื้น DELMHORST รุ่น BD-2100 แล้วเคลื่อนย้ายเข้าไปไว้ในห้องอบแห้ง
4. ทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลในห้องอบแห้งลำลีพันก้านจำนวน 9 จุด โดย 8 จุดทำการติดตั้งห่างจากผนังห้องอบแห้ง 10% ของขนาดห้องอบแห้งนั้นๆ และอีก 1 จุด ทำการติดตั้งให้อยู่กึ่งกลางห้องอบแห้ง
5. ติดตั้งเครื่องบันทึกค่าทางไฟฟ้า JANITZA รุ่น UMG-503 ตรงตำแหน่ง BREAKER ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดให้กับห้องอบแห้ง
6. เมื่อทำการติดตั้งเครื่องมืออุปกรณ์ดังกล่าวครบแล้วให้เริ่มทำการเปิดทำงานห้องอบแห้งและทำการบันทึกเวลาการอบแห้งเริ่มต้น
7. จากนั้นให้ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิทั้ง 9 จุดและความชื้นขึ้นงานทุกๆ 15 นาทีโดยทำการวัดไปเรื่อยๆ จนกระทั่งปิดการทำงานห้องอบแห้ง
8. ทำการวัดความเร็วอากาศด้วย เครื่องวัดความเร็วลมมัลติฟังก์ชัน Testo435-4ขณะทำการอบแห้ง
9. นำค่าที่บันทึกได้มาคำนวณในสมการผลรวมกำลังสองทั้งหมด (total sum of squares,  $SS_T$ )

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{N} \quad (1)$$

ผลรวมกำลังสองเนื่องจากทรีทเมนต์(sum of squares due to treatments,  $SS_{Treatments}$ )

$$SS_{Treatments} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a y_{i.}^2 - \frac{y_{..}^2}{N} \quad (2)$$

ผลรวมกำลังสองเนื่องจากค่าคลาดเคลื่อนสุ่ม (sum of squares due to error)

$$SS_{Error} = SS_T - SS_{Treatments} \quad (3)$$

จากสมการที่ (1), (2) และ (3) ใช้วิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตในแต่ละระดับ (ชาญณรงค์ สายแก้ว, 2555)

น้ำหนักของน้ำที่ระเหยและอัตราการอบแห้งสามารถคำนวณได้จากสมการ(5) และ สมการที่ (6)

$$W_2 = \frac{(100 - M_1) \times W_1}{100 - M_2} \quad (4)$$

$$M_w = W_1 - W_2 \quad (5)$$

$$\text{Drying rate; DR} = \frac{(M_1 - M_2)W_2}{t} \quad (6)$$

เมื่อ  $M_w$  คือ น้ำหนักของน้ำที่ระเหยหรือน้ำหนักของน้ำที่ต้องกำจัดออก (kg)

$W_1$  คือ น้ำหนักมวลก่อนอบแห้ง (kg)

$W_2$  คือ น้ำหนักมวลหลังอบแห้ง (kg)

$M_1$  คือ ความชื้นก่อนอบแห้ง (%)

$M_2$  คือ ความชื้นหลังอบแห้ง (%)

$t$  คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

DR คือ อัตราการอบแห้ง (kg of water evaporated/h)

จากสมการที่ (4) และ (5) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักจากความชื้น ถ้าความชื้นสูงจะมีน้ำหนักมากขึ้น (Watchalee&Panee, 2008)

สมดุลพลังงานสำหรับการอบแห้ง (Energy Balance)

สมดุลพลังงานความร้อนของกระบวนการอบแห้ง โดยสมมุติฐานว่าไม่เกิดการสูญเสียความร้อน

$Q_{loss} = 0$  จะได้ว่า พลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุเท่ากับพลังงานความร้อนของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง(Brooker et. al., 1992)

เมื่อไม่เกิดการสูญเสียความร้อนจะได้ ดังสมการที่ (9)

$$Q_{in} = Q_s = \dot{m} C_a (T_f - T_i) t \quad (7)$$

$$Q_{out} = Q_{MW} = M_w h_{fg} \quad (8)$$

จะสามารถสรุปสมการสมดุลพลังงานความร้อนสำหรับการอบแห้งได้ดังสมการที่ (9)

$$M_w h_{fg} = \dot{m} C_a (T_f - T_i) t \quad (9)$$

$$\dot{m} = \rho A V \quad (10)$$

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของห้องอบแห้ง

สมรรถนะของระบบการอบแห้งหาได้จากพลังงานความร้อนที่ระเหยออกจากวัสดุทั้งหมดต่อปริมาณความร้อนของอากาศแห้งโดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง(Tirawanichakul et. al., 2008)สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (11)

$$\eta_s = \frac{M_w h_{fg}}{\dot{m} C_a (T_f - T_i) t} \times 100 \quad (11)$$

เมื่อ  $\eta_s$  คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนอบแห้ง (%)

$M_w$  คือ มวลของน้ำระเหยออกจากวัสดุ (kg)

$h_{fg}$  คือ สัมประสิทธิ์การระเหยของน้ำ (MJ/kg)

$\dot{m}$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)

$C_a$  คือค่าความจุความร้อนจำเพาะอากาศ(MJ/kg °C)

$T_i$  คือ อุณหภูมิของอากาศก่อนอบแห้งวัสดุ (°C)

$T_f$  คือ อุณหภูมิของอากาศหลังอบแห้งวัสดุ (°C)

$\rho$  คือ ความหนาแน่นจำเพาะของอากาศ (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m<sup>2</sup>)

$V$  คือ ความเร็วของอากาศ (m/s)

$t$  คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (s)

การวิเคราะห์การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะใน

กระบวนการอบแห้ง (Specific Energy Consumption in Drying Process) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (12)

$$SEC = \frac{Q_S + Q_E \text{ (MJ)}}{M_w \text{ (kg)}} \quad (12)$$

$$Q_E = 3.6Ep \quad (13)$$

เมื่อ  $Q_S$  คือ พลังงานความร้อนที่ได้จากการใช้ไอน้ำ (MJ)

$Q_E$  คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวมทั้งหมด (MJ)

$Ep$  คือ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้รวมทั้งหมด (kWh)

3.6 คือ แฟกเตอร์การแปลงหน่วยจาก kWh เป็น MJ (1 kWh = 3,600 kW-s หรือ 3,600 kJ)

ประสิทธิภาพการอบแห้ง

ประสิทธิภาพการอบแห้งหาได้จากพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกเทียบเท่ากับพลังงานทั้งหมดที่ดูบได้รับ (Tirawanichakul et. al., 2008) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (14)

$$\eta_{Total} = \frac{M_w h_{fg}}{Q_S + Q_E} \times 100 \quad (14)$$

เมื่อ  $\eta_{Total}$  คือ ประสิทธิภาพห้องอบแห้ง (%)

$M_w$  คือ มวลของน้ำระเหยออกจากวัสดุ (kg)

$h_{fg}$  คือ สัมประสิทธิ์การระเหยของน้ำ (MJ/kg)

$Q_S$  คือ พลังงานความร้อนที่ได้จากการใช้ไอน้ำ (MJ)

$Q_E$  คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวมทั้งหมด (MJ)

### ผลการวิจัย

#### 1. การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งลำลิพั่นก้าน

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งลำลิพั่นก้าน สามารถแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิในแต่ละจุด 9 จุดพบว่าค่า  $F_o = 47.92$  มีค่ามากกว่า  $F_{crit} = 1.94$  แสดงให้เห็นว่าแต่ละจุดที่ทำกร วัดอุณหภูมิในห้องอบแห้งต่างกัันมีผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งลำลิพั่นก้าน

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนอุณหภูมิห้องอบแห้งลำลิพั่นก้าน

Source of Variation	Sum of squares	Degree of freedom	Mean squares	$F_o$	$F_{crit}$
Between treatments	15791.0	8.0	1973.8	47.92	1.94
Error Within treatments	19276.7	468.0	41.19		
Total	35067.8	476.0			

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนอุณหภูมิ ยังไม่สามารถบอกได้ว่าแต่ละจุดมีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ยหรือไม่ จึงต้องใช้หลักการเปรียบเทียบพหุคูณเพื่อทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าตั้งเกดของระดับว่าคู่ใดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าจุดที่ 8VS1, 8VS2, 8VS5, 8VS6, 8VS7, 7VS9, 7VS3, 7VS4, 6VS1, 6VS9, 6VS4, 5VS9, 5VS3, 5VS4, 4VS1, 4VS2, 3VS1, 3VS2, 2VS9, 9VS1 รวมจำนวนทั้งหมด 20 คู่ มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันจากทั้งหมด 36 คู่ จึงสรุปได้ว่าจำนวน 20 คู่ ดังกล่าวมีอุณหภูมิแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

#### 2. การใช้พลังงานและประสิทธิภาพห้องอบแห้งลำลิพั่นก้าน

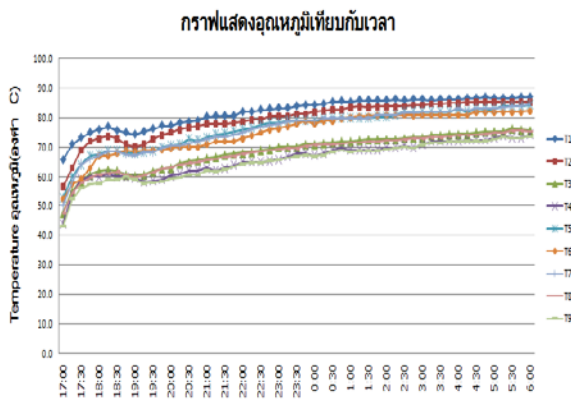
จากการตรวจวัดอุณหภูมิ, ความชื้นและค่าต่างๆ จนครบแล้ว นำมาคำนวณการใช้พลังงานและประสิทธิภาพในสมการสามารถแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พลังงานที่ใช้และประสิทธิภาพในการอบแห้ง

การใช้พลังงานและประสิทธิภาพ	พลังงาน
พลังงานความร้อนที่ใช้ทั้งหมด $Q_{In}$ หรือ $Q_S$ (MJ)	1696.05
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวมทั้งหมด $Q_E$ (MJ)	438.48
พลังงานที่ต้องใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุ(kg)	867.04
การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ SEC (MJ/kg)	5.56
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง $\eta_S$ (%)	51.12
ประสิทธิภาพการอบแห้งโดยรวม $\eta_{Total}$ (%)	40.62

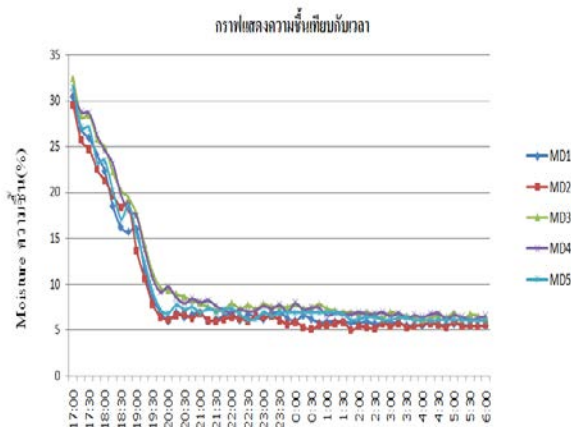
จากค่าพลังงานที่ได้ในตารางที่ 2 นำมาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าต้นทุนค่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งทั้งหมดใช้ 717.02 บาท/วัน หรือ 215,105 บาท/ปี(300 วัน)

### 3. การวิเคราะห์ความชื้นและอุณหภูมิเทียบกับเวลา



ภาพที่ 1 แสดงอุณหภูมิเทียบกับเวลา

จากภาพที่ 1 แสดงอุณหภูมิเทียบกับเวลา เมื่อ T1-T9 เป็นตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิจำนวน 9 จุด พบว่าอุณหภูมิจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่เวลา 17:00 น. จนถึงประมาณ 19:00 น. กราฟอุณหภูมิจะต่ำลงเนื่องจากพนักงานได้ทำการเปิดห้องอบแห้ง เพื่อนำสาลีพั่นก้านเข้าอบเพิ่มเติม จนกระทั่งถึงเวลาประมาณ 20:00 น. กราฟอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นไปเรื่อยๆจนถึงเวลา 06:00 น. แล้วทำการปิดระบบตู้อบแห้ง แสดงให้เห็นว่ามีการใช้ไอน้ำโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนตลอดเวลา เนื่องจากการกระจายอุณหภูมิภายในห้องอบไม่สม่ำเสมอ ทำให้บางจุดเกินค่าที่ตั้งของระบบ (ค่าระบบที่ตั้งเท่ากับ 80 °C) และบางจุดยังอุณหภูมิไม่ถึงจึงทำให้มีการเปิดเอาความร้อนมาใช้ตลอดช่วงเวลารอบแห้ง



ภาพที่ 2 แสดงความชื้นเทียบกับเวลา

จากภาพที่ 2 แสดงความชื้นเทียบกับเวลา เมื่อ MD1 ถึง MD5 คือจำนวนจุดที่ทำการวัดจำนวน 5 จุด เป็นความชื้นของชิ้นงานระหว่างการอบแห้งตั้งแต่เริ่มทำการอบแห้งจนทำการปิดตู้อบแห้ง จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 30 % ระยะเวลาการอบแห้งผ่านไปประมาณ 9 ชั่วโมงที่ 02:00 น. ความชื้นจะอยู่ที่ประมาณ 5-6 % ไปจนถึง 06:00 น. ซึ่งใช้เวลาทั้งหมด 13 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาดังกล่าวตั้งแต่ 02:00 น. ไปจนถึง 06:00 น. แนวโน้มความชื้นจะไม่ลดลงต่ำกว่า 5% หากมีการเพิ่มระยะเวลาการอบแห้งจะเป็นสาเหตุทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งโดยสูญเปล่า

### 4. มาตรการเสนอแนะในการประหยัดพลังงาน

จากการวิเคราะห์การใช้พลังงาน ในภาพที่ 1 และภาพที่ 2 กราฟความชื้นและอุณหภูมิเทียบกับเวลาข้างต้นได้นำผลมาศึกษาเพื่อเสนอแนะมาตรการในการประหยัดพลังงาน ซึ่งมีแนวทางคือ

4.1 ปรับการกระจายอุณหภูมิห้องอบแห้งให้สม่ำเสมอหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด

จากการเปรียบเทียบหาคูณอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากความแตกต่างดังกล่าวอาจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน แต่ปัจจัยหนึ่งขึ้นอยู่กับการไหลเชิงมวลของอากาศและอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศขึ้นอยู่กับ ผลคูณของความหนาแน่นจำเพาะของอากาศพื้นที่หน้าตัดท่อ และความเร็วมวลของอากาศ จึงทำการเสนอการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดของท่อให้มีพื้นที่ลดลง เดิมขนาด  $0.6 \times 1.0 = 0.6 \text{ m}^2$  เป็น  $0.30 \times 0.45 = 0.135 \text{ m}^2$  เพื่อเพิ่มความเร็วของอากาศ

### 4.2 การลดเวลาในการอบแห้ง

จากการวิเคราะห์กราฟความชื้นเทียบกับเวลาและกราฟอุณหภูมิเทียบกับเวลาจึงทำการเสนอการลดเวลาในการอบแห้งจากเดิม 13 ชั่วโมง เหลือ 9 ชั่วโมง เพื่อลดการใช้พลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง

#### 4.3 การลดพลังงานไฟฟ้า

จากมาตรการที่ 4.2 การลดเวลาในการอบแห้ง ส่งผลทำให้พลังงานไฟฟ้าลดลงตามไปด้วย

หากดำเนินการตามมาตรการที่นำเสนอจะสามารถ จำลองจากสมการ ได้ผลดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** พลังงานที่ใช้และประสิทธิภาพในการอบแห้งหลังดำเนินการตามมาตรการแนะนำ

การใช้พลังงานและประสิทธิภาพ	พลังงาน
พลังงานความร้อนที่ใช้ทั้งหมด $Q_{In}$ หรือ $Q_S$ (MJ)	1174.19
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวมทั้งหมด $Q_E$ (MJ)	303.55
พลังงานที่ต้องใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุ(kg)	867.04
การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ SEC (MJ/kg)	3.85
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง $\eta_S$ (%)	73.84
ประสิทธิภาพการอบแห้งโดยรวม $\eta_{Total}$ (%)	58.67

จากค่าพลังงานที่ได้ในตารางที่ 3 นำมาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าต้นทุนค่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งหลังดำเนินการปรับปรุงทั้งหมดใช้ 496.39บาท/วัน หรือ 148,915บาท/ปี(300 วัน)

#### อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์และคำนวณการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งสำหรับพื้นที่อุณหภูมิ 50-80 °C ความชื้นเริ่มต้น 28-30% จนถึงความชื้นสุดท้ายที่ 6-7% ระยะเวลาในการอบแห้ง 13 ชั่วโมง ขึ้นงานอบแห้งเฉลี่ยทั้งหมด 46,628 ชิ้นและทำการวัดอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลเปิดจำนวน 9 จุด พบว่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมดเท่ากับ 1696.05 MJ, พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวมทั้งหมด เท่ากับ 438.5 MJ, พลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากชิ้นงานเท่ากับ 867.04 MJ, การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในกระบวนการอบแห้งเท่ากับ 5.56 MJ/kg, ประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้งเท่ากับ 51.12 %, ประสิทธิภาพการอบแห้งโดยรวมเท่ากับ 40.62 % และพบว่าอุณหภูมิในห้องอบแห้งไม่สม่ำเสมอหรือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากนั้นจึงได้นำเสนอมาตรการ

ประหยัดพลังงาน คือการปรับการกระจายอุณหภูมิให้สม่ำเสมอหรือใกล้เคียงกันโดยการลดพื้นที่หน้าตัดต่อการลดเวลาในการอบแห้งจาก 13 ชั่วโมง เหลือ 9 ชั่วโมง และการลดพลังงานไฟฟ้าจากการลดเวลาการอบแห้ง ทำให้พลังงานความร้อนที่ใช้ลดลงเท่ากับ 521.86 MJ, พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวมทั้งหมดลดลงเท่ากับ 134.93 MJ, การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง SEC ลดลงเท่ากับ 1.71 MJ/kg, ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้งเพิ่มขึ้นเท่ากับ 22.72 %, ประสิทธิภาพการอบแห้งโดยรวมเพิ่มขึ้น 18.05% คิดเป็นผลการประหยัดได้ 66,189 บาท/ปี

#### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด ขอขอบคุณบริษัทเพิ่มพูนพัฒนาอุตสาหกรรม จำกัด ตำบลบ้านไผ่ อำเภอ บ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าตรวจวัดพลังงาน ขอขอบพระคุณอาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยขอนแก่นทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้แก่ข้าพเจ้า จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จ

#### เอกสารอ้างอิง

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3828 (2551) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สำหรับ สาลีพันธุ์ ก้าน มอก.1113-2551  
 วุฒิ มณี โชติ. กรรมการผู้จัดการ บริษัทเพิ่มพูนพัฒนา อุตสาหกรรม จำกัด. 2552. โออีเอ็ม (OEM) ไทย ผลิตสำเร็จรายใหญ่แห่งเอเชีย. คั่นเมื่อ 10 ตุลาคม 2556 จาก [http://www.matichon.co.th/news\\_detail.php?newsid=1258186649&grpId=no](http://www.matichon.co.th/news_detail.php?newsid=1258186649&grpId=no)  
 Jaya, S. and Das, H. (2003)., A vacuum drying model for mango pulp, *Drying Technology*. 21(7). 1215-1234

ChaleedaBorompichaichartkul. 2555. Hybrid Drying Technology: Application for Preservation of Heat Sensitive Food Products. Department of Food Technology, Faculty of Science.Chulalongkorn University

วิโรจน์ จินดารัตน์, เกียรติจิจร สุเวทเวทิน และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช. 2551. การวิเคราะห์การใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งวัสดุพอรุนหลายชั้นโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับการพาความร้อนภายในท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม. รวมบทความวิชาการ เล่มที่ 3 การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22: หน้า 217

ชาญณรงค์ สายแก้ว. 2555. สถิติและการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม.พิมพ์ครั้งที่ 2. หน่วยสารบรรณ งานบริการและธุรการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

WatchaleeKaewboonsong, PaneeChira-adisai, Energy for Environment Foundation, Biomass Clearing House. 2008. Biomass.First Printing.Q print management Co.,Ltd. Bangkok

Brooker, D. B., F. W. Bakker-Arkema and C. W. Hall. 1992. Drying and Storage Grains and Oilseeds. Van Nostrand Reinhold, New York. 450 p.

Tirawanichakul, Y.,&Tirawanichakul, S., Na Phatthalung, W., 2008 Drying strategy of shrimp using hot air convection and hybrid infrared radiation and hot air convection. Walailak Journal of Science and Technology, 55, 77-100